G. E. VILLAR

DIRECTOR DEL INSTITUTO DE TECNOLOGIA Y QUIMICA DE LA FACULTAD DE INGENIERIA Y AGRIMENSURA DE MONTEVIDEO, PROFESOR DE QUIMICA FISICA EN LA MISMA FACULTAD Y MIEMBRO DE LA DELEGACION DEL URUGUAY A LA CONFERENCIA ATOMICA DE GINEBRA

ENERGIA ATOMICA

PARA LA PAZ



IMPRESORA L.I.G.U. — MONTEVIDEO

1956

ENERGIA ATOMICA
PARA LA PAZ

(Apartado de la REVISTA DE INGENIERIA
Nos. 571, 572, 573 y 574)



Sesión inaugural de la Conferencia Internacional para el Uso de la Energía Atómica con Fines Pacíficos celebrada en la sala de asambleas del Palacio de las Naciones de Ginebra el 8 de agosto de 1955.

INDICE

INTRODUCCION

Conclusiones de la Conferencia Atómica de Ginebra. — La Conferencia Atómica de Ginebra ha sido el más importante certamen técnico-científico que se haya realizado hasta entonces en el mundo.

Importante por el número y la calidad de las personas que participaron en la Conferencia; importante por el tema que dió origen a la convocatoria de las Naciones Unidas; e importante también, por los trabajos y memorias que fueron objeto de consideración.

Participaron en la Conferencia 73 naciones, las que enviaron a Ginebra, con un total de 1,200 delegados, a sus más distinguidos cultores de las ramas de la Ciencia y de la Técnica que podrían tener relación con la utilización de la energía atómica con fines pacíficos.

Estaba allí la Delegación Alemana, presidida por Otto Hahn, el descubridor de la fisión atómica y premio Nobel de la Química por sus valiosas investigaciones dentro del campo de la Radioquímica, incluyendo además el descubrimiento del protoactinio.

También la Delegación Danesa tenía por presidente a un hombre de ciencia ilustre: Niels Bohr, padre de las teorías atómicas modernas y agraciado con el Premio Nobel de la Física.

En las numerosas bancadas ocupadas por la Delegación del Reino Unido, sobresalía la prestigiosa figura de su presidente: Sir John Cockroft, Premio Nobel de la Física por sus notables trabajos sobre la transmutación artificial de los elementos.

Y con una nutrida falange de técnicos y hombres de ciencia de renombre mundial, sobresalía la Delegación de Estados Unidos de América; con Ernest O. Lawrence, Premio Nobel de la Física por el descubrimiento del ciclotrón y sus importantes contribuciones al desarrollo de los equipos aceleradores electromagnéticos de partículas; con Glenn T. Seaborg, Premio Nobel de la Química por sus notables trabajos dentro del campo de los elementos transuránicos; y con Isidor I. Rabi, Premio Nobel de la Física por sus investigaciones relacionadas con las propiedades magnéticas de los núcleos atómicos.

Esta asamblea inmensa debió cumplir su misión dentro del plazo improrrogable de dos semanas. Para la cual la Secretaría General de las Naciones Unidas con la colaboración del Comité Consultivo de la Conferencia, prepararon una distribución del tiempo perfecta.

La responsabilidad de dar cumplimiento a la labor dentro del plazo indicado correspondió al Profesor Walter G. Whitman, Jefe del Departamento de Ingeniería Química del Instituto de Tecnología de Massachussetts, quien desempeñó las funciones de Secretario General de la Conferencia.

A la actuación descollante del Profesor Whitman debe atribuirse una buena parte del magnífico éxito alcanzado por la Conferencia.

Los técnicos y los hombres de ciencia que concurrieron a Ginebra bajo la convocatoria de las Naciones Unidas se encontraron allí frente a dos cuestiones indiscutibles y de enorme trascendencia para el futuro inmediato de la Humanidad:

Primera. — Está definitivamente resuelta la generación de la energía eléctrica utilizando el calor desprendido en la fisión atómica.

Segunda. — Si los consumos de la energía necesaria para el desarrollo del mundo futuro se incrementan al mismo ritmo actual, dentro de uno o dos siglos se habrán agotado las reservas de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos empleados hoy como fuente de calor y para la generación de la energía eléctrica.

Es decir, que el momento actual no podría ser más oportuno para habilitar una nueva fuente de energía.

Al regresar a mi patria me sentí en cierto modo obligado a trasmitir a mis compatriotas parte de las impresiones y de las informaciones recogidas en Ginebra. Fué por ello que me decidí a reunir en un ciclo de tres disertaciones parte del material considerado por la Conferencia, para difundir las opiniones expuestas por personalidades de renombre mundial y por lo tanto de autoridad indiscutigle, con respecto al asunto técnico-científico de interés más apasionante en el momento actual: *la utilización de la energía atómica con fines pacíficos.*

El contenido de aquellas disertaciones, en el que he tratado de mantener en lo posible la forma original de las opiniones vertidas a

la Conferencia, ha servido de base para la presente publicación, en la que por razones circunstanciales de espacio y de tiempo, me he visto obligado a limitar los temas tratados, los que fueron elegidos teniendo principalmente en cuenta su interés desde el punto de vista de la Ingeniería.

En cierto modo esta exposición seguirá en forma cronológica el desarrollo de las deliberaciones de la Conferencia de Ginebra, en la que se consideraron en primer término los diferentes factores que intervienen en el balance energético mundial, con el objeto de poner en evidencia la considerable importancia que tendrá el uso de la energía atómica en un futuro no lejano.

El segundo punto fundamental, lo constituyó la consideración de los sistemas actualmente desarrollados para la generación de la electricidad a partir de la energía atómica.

Considerando la enorme expectativa despertada en nuestro país por la Conferencia de Ginebra, me ha parecido necesario referirme también a las posibilidades que se ofrecen en el Uruguay para la implantación de la energía atómica.

Para dar mayor valor a las afirmaciones contenidas en esta exposición, he estimado conveniente reunir en ella con la mayor fidelidad las informaciones recogidas en la Conferencia, sea a través de las disertaciones que tuve oportunidad de escuchar, como en los trabajos y memorias que se presentaron al certamen, indicando en cada caso la bibliografía correspondiente.

Antecedentes de carácter histórico sobre la Conferencia de Ginebra. — El 4 de diciembre de 1954 la Asamblea General de las Naciones Unidas adoptó por unanimidad, la resolución de llevar a cabo una Conferencia técnica internacional entre representantes de gobiernos, para explorar los medios de fomentar, por medio de la cooperación internacional, la utilización de la energía atómica con fines pacíficos.

En el preámbulo de dicha resolución la Asamblea General manifestó su esperanza por que los beneficios derivados del descubrimiento de la energía atómica se pongan al servicio de la Humanidad; expresando al mismo tiempo su propósito de fomentar enérgicamente el uso exclusivo de la energía atómica con fines pacíficos.

En la primera parte de la citada resolución, la Asamblea apoyó la propuesta de crear un Organismo Internacional de Energía Atómica, haciéndose presente en tal oportunidad la iniciativa formulada por el Presidente de los Estados Unidos en el discurso pronunciado ante la Asamblea en el año 1953.

La segunda parte de la resolución se refirió a la realización de una Conferencia Técnica Internacional sobre la Utilización de la Energía Atómica con Fines Pacíficos, determinándose que dicha Conferencia debería estudiar el desarrollo de la energía atómica y examinar otras ramas técnicas tales como la Biología, la Medicina, la protección contra las radiaciones, así como las Ciencias Puras, a los efectos de conseguir la mayor eficacia en la cooperación internacional tendiente hacia el intercambio de ideas e informaciones.

La Asamblea General decidió además que se invitara a participar en la Conferencia a los 60 Estados Miembros y a 24 países que son miembros de organismos especializados; participando en la Conferencia 73 naciones, las que se hicieron representar por más de 1,200 delegados.

A los efectos de facilitar la organización de la Conferencia, la Asamblea General designó un Comité Consultivo para colaborar con el Secretario General de las Naciones Unidas.

Dicho Comité Consultivo se integró en la siguiente forma: Dr. J. Costa Ribeiro, representante del Brasil; Dr. W. B. Lewis, representante del Canadá; Dr. I. I. Rabi, representante de los Estados Unidos de América; Dr. B. Goldschmidt, representante de Francia; Dr. H. J. Bhabha, representante de la India; Sir John Cockcroft, representante del Reino Unido; y el académico D. V. Skobeltzin, representante de la Unión de las Repúblicas Socialistas Soviéticas.

Desde el 17 al 28 de enero de 1955, el Comité Consultivo se reunió en Nueva York con el Secretario General de las Naciones Unidas Sr. Dag Hammarskjöld, acordando que la Conferencia tendría lugar en Ginebra del 8 al 20 de agosto de 1955.

Por consejo del Comité Consultivo, el Secretario General de las Naciones Unidas designó para ejercer la Presidencia de la Conferencia al Doctor Homi J. Bhabha, Presidente de la Comisión de la Energía Atómica de la India; nombrando además al Profesor Walter G. Whitman para desempeñar las funciones de Secretario General de la Conferencia.

Posteriormente, el Secretario General de las Naciones Unidas designó Secretario Ge-

neral Adjunto de la Conferencia al Sr. Víctor S. Vavilov, del Instituto de Física de la Academia de Ciencias de la Unión Soviética.

Para facilitar el desarrollo de los trabajos de organización de la Conferencia se constituyó también en la Secretaría de las Naciones Unidas un grupo técnico constituído por 19 jóvenes hombres de ciencia pertenecientes a 13 países, cuya eficaz labor constituyó una manifestación elocuente de la eficiencia que podrá conseguirse en la cooperación internacional orientada hacia el uso pacífico de la energía atómica.

El Secretariado de la Conferencia no sólo se ocupó de la clasificación, ordenamiento y preparación para la distribución de los 1,125 trabajos enviados, sino que también tuvo a su cargo la selección de los 474 trabajos que fueron presentados en forma oral durante el certamen.

El Secretariado preparó además un glosario de la terminología referente a la energía nuclear, en los cuatro idiomas oficiales de la Conferencia: español, francés, inglés y ruso. Dicho glosario fué particularmente útil para los intérpretes y los representantes de prensa que concurrieron a Ginebra.

PRIMERA PARTE

LA ENERGIA ATOMICA EN EL BALANCE ENERGETICO DEL MUNDO FUTURO

CAPITULO I

Las necesidades mundiales de energía en la segunda mitad del siglo actual

Influencia de la energía en el desarrollo de la civilización. — La historia de la Humanidad pone en evidencia de modo singularmente gráfico, la forma estrecha con que la utilización de la energía se ha encontrado unida al progreso humano.

Sin entrar a considerar el valor enorme que la energía calorífica tiene para la vida humana, nos referiremos en particular a la repercusión considerable que el desarrollo de otras formas de la energía, como la energía mecánica y la energía eléctrica, ha tenido en el desenvolvimiento de la civilización.

En los primeros tiempos el alcance de la labor del Hombre se encontró restringido por los límites de su energía muscular; pero llegó un momento en que aquél consiguió enjaezar los animales para que le ayudaran en su tarea.

Más tarde, el Hombre descubrió la manera de utilizar —dentro de estrechos límites— la energía del viento, así como la existente en la caída de las aguas.

Con los molinos de viento, las ruedas hidráulicas y las bestias de carga, el hombre amplió notablemente el campo de sus actividades y realizó grandes obras.

La invención de la máquina de vapor que transforma la energía térmica en energía mecánica, señaló el comienzo de una era de acelerado progreso. Fué posible entonces utilizar la energía en cantidades siempre crecientes y realizar trabajos hasta entonces imposibles. ([1])

La energía mecánica encontró sin embargo la severa limitación de que sólo era utilizable en las inmediatas proximidades de su generación, debido a que dicha energía sólo puede trasmitirse por medio de ejes y correas a distancias muy cortas.

No hace un siglo aún, el Hombre dió un enorme paso hacia el progreso con la transformación de la energía mecánica en energía eléctrica. Aparecieron entonces posibilidades casi ilimitadas para el empleo de la energía.

La electricidad se transformó en energía mecánica mediante máquinas fijas y móviles; se utilizó para la iluminación, facilitó la mecanización de la Industria y dió origen al desarrollo de dos nuevos sectores importantes de la misma: las Industrias Electroquímicas y las Industrias Electrometalúrgicas.

La electricidad constituyó por ello uno de los factores más fundamentales para el desarrollo del progreso actual, siendo además un elemento imprescindible para el bienestar humano y para el desenvolvimiento industrial.

Ventajas de la energía atómica frente al transporte de la energía. — Las distancias a que puede transportarse la energía eléctrica son muy superiores al radio de acción directo de la energía mecánica. Sin embargo, el transporte de la electricidad constituye la barrera infranqueable para la total difusión de su uso en el Mundo.

La disposición actual de los cables submarinos no permite el transporte de la energía eléctrica a través de los mares más allá de los 100 kilómetros. Por otra parte, el límite del transporte de la electricidad por las redes aéreas de muy alta tensión (400,000 voltios) es de 1,000 a 1,200 kilómetros. ([1])

El transporte de la energía eléctrica requiere instalaciones específicas de costo muy elevado, siendo además muy importantes las pérdidas que se producen en las líneas, en los transformadores y en los sistemas de compensación necesarios para la estabilidad y la regulación de las redes de distribución.

Se calcula que el costo del transporte de 150,000 kW a lo largo de 400 kilómetros es sensiblemente igual a la mitad del costo que correspondería a la construcción de una central térmica de igual potencia. ([2])

Con los recursos actuales no es posible aumentar los límites del transporte de la energía hidroeléctrica más allá de las distancias indicadas.

En el caso de la energía termoeléctrica,

aquellos límites pueden extenderse considerablemente con el transporte de los combustibles que constituyen la materia prima para la generación de energía. Por ello, el uso de la energía termoeléctrica se encuentra prácticamente supeditado al transporte de los combustibles.

Resulta así inaccesible la utilización de la energía eléctrica en las regiones polares, en inmensas zonas desérticas y en numerosas regiones montañosas desprovistas de reservas naturales de combustibles y a las que éstos no pueden llevarse por imposibilidad del transporte.

Además, el transporte largo o difícil de los combustibles encarece considerablemente el costo de la energía termoeléctrica.

La energía atómica tiene frente a las otras fuentes de energía una ventaja inmediatamente aparente: su fácil transporte.

Para dar una idea de ello basta tener en cuenta que en el año 1954 se generaron en el Uruguay 900 millones de kilowatios-hora de energía eléctrica. Para producir esta cantidad de energía en plantas atómicas provistas de reactores reproductores, se requeriría el consumo de 280 kg. de uranio, cantidad de combustible que sería fácilmente transportable a cualquier lugar del mundo con los sistemas modernos de aeronavegación.

Conviene tener presente que en los reactores reproductores a base de uranio natural, o de uranio natural enriquecido con uranio-235, se consume el material fisionable (uranio-235) y al mismo tiempo se transforma en plutonio-239 también fisionable, el uranio-238 que constituye en un 99.2% el uranio natural.

Si se tiene en cuenta que el precio actual del uranio es de U$S 40.00 el kg., resultaría que el costo del combustible nuclear necesario para abastecer de energía eléctrica al Uruguay durante un año sería de unos U$S 12,000, o sea de unos o$u 23,000 (al tipo de cambio de o$u 1.90 por dólar), incluyendo el precio del transporte.

Para generar aquella misma cantidad de energía en plantas termoeléctricas se hubieran requerido 220,000 toneladas de fuel-oil, con un costo de unos o$u 8,000,000, equivalentes a unos U$S 4,000,000 al tipo de cambio citado que rigió para las importaciones de combustibles al Uruguay en el año 1954.

Estas cifras ponen en evidencia no sólo la facilidad del transporte de los combustibles nucleares, sino también que su costo influye en forma ínfima sobre la generación de energía, en la cual el costo de los combustibles sólidos, líquidos o gaseosos tiene una importante repercusión.

Nos encontramos pues frente a una nueva fuente de energía que constituye la solución del importantísimo problema hasta ahora imposible de resolver, de llevar la energía y con ella los beneficios de la civilización, a numerosas regiones del Mundo en donde el desarrollo de la vida humana y el aprovechamiento de los recursos naturales se encuentran paralizados por la falta de las indispensables disponibilidades de energía.

Planteamiento en la Conferencia Atómica de Ginebra del balance energético mundial. — La Conferencia Internacional para el Uso de la Energía Atómica con Fines Pacíficos encaró el estudio de la utilización de la energía atómica desde dos puntos igualmente fundamentales: a) el balance energético mundial con el fin de determinar el alcance que podría tener el empleo de los combustibles nucleares en el abastecimiento de la energía requerida para satisfacer las necesidades del Mundo; y b) el desarrollo técnico alcanzado por la generación de la energía nucleoeléctrica, a los efectos de determinar la fecha en que el uso de la energía atómica podría difundirse en el Mundo.

El balance energético mundial hace necesario el análisis de dos cuestiones en idéntico modo esenciales: a) la previsión de las demandas futuras de energía; y b) la determinación de los recursos necesarios para atender tales demandas de energía.

Estos dos puntos absorbieron la atención de la Asamblea Plenaria de Ginebra en sus primeras sesiones, considerándose allí los estudios estadísticos correspondientes a las necesidades mundiales de energía, realizados por algunos autores y por la Secretaría General de las Naciones Unidas sobre la base de datos de diverso origen y de las informaciones parciales proporcionadas por los países que respondieron al temario distribuído conjuntamente con la invitación para participar en la Conferencia.

La variación con el tiempo de los consumos mundiales de energía. — Los estudios estadísticos ponen de manifiesto que en los últimos 100 años los consumos mundiales de energía se han ido incrementando progresivamente y ajustándose a una ley que se traduce en un aumento anual de los consumos

Las cifras que se establecen en el cuadro I para la producción de energía hidroeléctrica se han expresado en millones de toneladas de carbón equivalentes, sobre la base de la cantidad de carbón necesaria para producir 1,000 kilowatios-hora de electricidad, la cual fué de 0.9 toneladas en 1929 y de 0.6 toneladas en 1950. Por esta razón el incremento del 3.3 % por año correspondiente a la producción de energía hidroeléctrica que figura en el cuadro, es inferior al incremento real del 5.3% equivalente al 2% del consumo total de energía correspondiente al año anterior. (3)

Aun cuando los consumos anuales de energía cumplen con gran regularidad aquella ley de aumento progresivo, no ocurre lo mismo con la variación experimentada en el pasado por el aumento del consumo de los combustibles y por el desarrollo de las fuentes hidráulicas utilizadas para la generación de energía.

Durante la segunda mitad del siglo XIX declinó el consumo de la leña y aumentó rápidamente el consumo del carbón. En cambio, en las últimas décadas ha ido disminuyendo notablemente el incremento de consumos de carbón y aumentando en forma apreciable el incremento de los consumos de petróleo y de gas natural. También ha ido aumentando el incremento anual correspondiente a la energía hidroeléctrica generada.

Pueden compararse en el cuadro I las cifras correspondientes a los consumos de combustibles sólidos líquidos y gaseosos en los años 1929 y 1950, así como las cifras correspondientes a la energía hidroeléctrica generada en dichos años. (4)

La conversión de los consumos de petróleo y gas natural que figuran en dicho cuadro fué realizada sobre la base de suponer que una tonelada de petróleo equivaldría a 1.3 toneladas de carbón y 1,000 metros cúbicos de gas natural equivaldrían a 1.33 toneladas de carbón. (4)

Como lo ponen de manifiesto las cifras que figuran en el cuadro I, en el intervalo de tiempo comprendido entre los años 1929 y 1950, el incremento medio de los consumos mundiales de carbón se realizó apenas a razón de un 0.5% del consumo anual. El incremento medio de los consumos de petróleo se produjo a razón del 4.7%; y el incremento medio de los consumos de gas natural fué del 6.3%.

CUADRO I

Consumos mundiales de combustibles primarios y energía hidroeléctrica generada en los años 1929 y 1950

(Expresados en millones de toneladas de carbón equivalentes)

Años	*Combustibles sólidos*	*Petróleo*	*Gas natural*	*Energía hidroeléctrica*	*Totales*
1929	1,410	270	80	100	1,860
1950	1,580	700	270	200	2,750
Incremento anual compuesto	0.5%	4.7%	6.3%	3.3%	1.90%

La situación energética mundial en el año 1952. — De acuerdo con los estudios realizados por la Secretaría General de las Naciones Unidas la producción mundial de fuentes de energía en el año 1952 alcanzó a la cifra total de 29,000 millones de kWh de electricidad equivalente, lo que corresponde aproximadamente a 12,000 kWh por cabeza. (8)

Con respecto a estas cifras conviene hacer notar que ellas comprenden no sólo la energía consumida bajo la forma de electricidad, sino también la utilizada como calor (que es predominante), así como igualmente la generada y utilizada bajo la forma de energía mecánica.

En el cuadro II se detalla la forma como

se distribuyó la producción mundial de fuentes de energía en el referido año. ([8])

CUADRO II

Producción mundial de combustibles y energía en el año 1952

(En miles de millones de kilowatios-horas de electricidad equivalente)

Combustibles y fuentes de energía	*Cantidades*	*Proporción en el total %*
Combustibles fósiles:		
Carbón	12,000	41.4
Lignito y turba	1,300	4.5
Petróleo y gasolina natural	7,700	26.5
Gas natural	2,700	9.3
Otras fuentes:		
Combustibles vegetales	4,600	15.9
Energía hidráulica ..	400	1.4
Energía animal	300	1.0
Totales	29,000	100.0

Las cifras que figuran en el cuadro II fueron calculadas sobre la base de que 1.000 kilowatios-hora equivalen aproximadamente a:

125 kg. de carbón.
400 kg. de lignito.
250 kg. de turba.
83,3 kg. de petróleo o gasolina natural.
94.5 metros cúbicos de gas natural.
250 kg. o 0.5 metro cúbico de combustibles vegetales.

De la producción total de energía, sólo se utilizó en forma efectiva el 35%, alcanzando la energía perdida y dispersa a la proporción del 65%, como se deduce de las cifras que se indican en el cuadro III. ([8])

La energía efectivamente utilizada, fué consumida en un 79.3% bajo la forma de calor y en un 20.7% como energía eléctrica y mecánica, de acuerdo con la distribución que se indica en el cuadro IV donde se detalla la utilización del calor y de la energía consumidos en el Mundo durante el año 1952. ([8])

Las cifras que figuran en el cuadro IV ponen de manifiesto que de la energía consumida por la Industria, sólo el 10% es utilizado bajo la forma de energía, empleándose el 90% bajo la forma de calor.

CUADRO III

Distribución del uso y de las pérdidas de energía en el año 1952

(En miles de millones de kilowatios-hora de electricidad equivalente)

Destino de la energía	*Cantidades*
Uso efectivo como calor y energía:	
En la Industria	5,800
Uso doméstico	3,300
Transporte	800
Agricultura	300
Pérdidas y dispersión:	
En Plantas eléctricas	2,300
En Refinerías de petróleo ..	800
En Plantas de coke y gas ...	500
En la trasmisión	100
En el uso	14,000
Varias	1,100
Total	29,000

Factores que influyen simultáneamente sobre la variación con el tiempo de los consumos mundiales de energía. — La constancia del incremento del 2% correspondiente a la variación de los consumos mundiales de energía en los últimos 100 años resulta de la coincidencia de numerosos factores que afectan simultáneamente al crecimiento de dichos consumos. Entre estos factores se encuentran principalmente: 1º) la velocidad de crecimiento de la población del Mundo; 2º) la velocidad de expansión industrial; 3º) el perfeccionamiento de las técnicas de utilización de los combustibles; 4º) los cambios producidos en la composición del conjunto de las fuentes utilizadas para la generación de la energía.

Para llegar a la previsión de los futuros consumos mundiales de energía es necesario examinar primeramente la forma como se pro-

CUADRO IV

Utilización del calor y de la energía útiles consumidos en el mundo durante el año 1952

(En miles de millones de kilowatios-hora de electricidad equivalente)

Sector de consumo	*Calor útil*	*Energía útil*
Industria	5,200	600
Uso doméstico .	2,900	400
Transporte	—	800
Agricultura	—	300
Totales	8,100	2,100

CUADRO V

Incremento anual de población previsto para algunos países

País	*Incremento anual %*	*Período considerado*
Bélgica	0.39	1955 — 2000
Japón	0.43	1954 — 2000
Holanda	0.96	1950 — 1975
Yugoeslavia	1.34	1955 — 2000
Australia	2.60	1955 — 2000
Uruguay	2.70	1955 — 2000
Israel	3.90	1954 — 1965

ducirá la variación de los cuatro factores que se acaban de enumerar, a lo largo de los 45 años que restan del presente siglo.

El crecimiento de la población mundial en la segunda mitad del siglo XX. — Durante la segunda mitad del siglo pasado la población mundial aumentó a razón de un 7.5% por década; mientras que en el presente siglo el aumento de población se ha acelerado, siendo de un 9% por década.

Este crecimiento más rápido se atribuye en gran parte a las importantes reducciones que se han producido en la mortalidad como consecuencia de los notables descubrimientos que se han obtenido en las ciencias médicas en el correr del presente siglo.

En el análisis efectuado por Robinson ([3]) se supone que la población del Mundo que actualmente es de 2,400 millones, sobrepasará en el año 2000 los 3,200 millones de habitantes. ([3]) Esto significa prever un aumento anual de la población igual al 1.03% de la población correspondiente al año anterior.

Las previsiones que se tuvieron en cuenta por los distintos países al preparar sus memorias para la Conferencia de Ginebra presentan una diversidad muy apreciable, como puede verificarse comparando las cifras que figuran en el cuadro V donde se han reunido los porcentajes correspondientes al aumento anual previsto para el incremento de la población de algunos países. ([5])

En los estudios estadísticos realizados por las Naciones Unidas se ha supuesto que la población del Mundo pueda crecer a razón de un incremento máximo del 1.5%, con lo cual la población llegaría a 3,200 millones en 1975 y a 4,700 millones en el año 2000. ([8]) Hay razones para suponer que estas cifras se acercarán bastante a la realidad; siendo por ello que se tendrán más adelante en cuenta al estimar las necesidades mundiales de energía en los referidos años.

Como el incremento de población irá unido en muchas parte del Mundo a un notable mejoramiento de los medios de vida, las demandas de energía directamente relacionadas con la actividad doméstica aumentarán en una relación mayor que los aumentos de población.

El desarrollo industrial en los próximos cuarenta y cinco años. — El desarrollo industrial del Mundo en los últimos diez años ha sido sensiblemente mayor que en el intervalo entre las dos guerras debido a causas de diverso orden. Cabe señalar entre éstas el adelanto progresista de muchos países, los que de una economía basada principalmente en la explotación agrícola primaria están pasando a un alto nivel de desarrollo industrial. Por otra parte, numerosos países industrializados están modernizando rápidamente su Industria, incorporando a ella técnicas que permiten incrementar la producción y reducir considerablemente la mano de obra. ([3])

Ha influído además en el presente desa-

rrollo industrial la recuperación de la Industria de muchos países que fueron seriamente afectados por la guerra. La influencia de este último factor sobre la actual expansión industrial tiende a desaparecer, pues aquel proceso de recuperación se encuentra ya casi terminado.

El desarrollo industrial del Mundo está lejos de acercarse a la saturación; observándose en los Estados Unidos y en los países de Europa, que se caracterizan por su intensa actividad industrial, una velocidad de crecimiento de la Industria muy superior a la registrada en el período comprendido entre las dos guerras. Por otra parte, en los demás países, cuya velocidad de desarrollo industrial es más lenta, el camino a recorrer para alcanzar la completa expansión industrial es mucho más dilatado.

Es por lo tanto evidente que en la segunda mitad del siglo actual se producirá un contínuo y firme aumento de las demandas de energía por la Industria.

La Secretaría General de las Naciones Unidas ha realizado un estudio sistemático y cuantitativo del desenvolvimiento industrial del Mundo en los últimos 85 años, estableciéndose un índice de producción industrial mundial, el que se fijó en 100 para el año 1870. [6] y [7]

CUADRO VI

Variación del índice de producción industrial mundial en el período 1870-1952

Año	*Indice de producción industrial mundial*
1870	100
1900	310
1913	530
1920	500
1929	800
1932	540
1937	950
1946	1000
1952	1710

En el cuadro VI se indica la forma como ha variado el índice de producción industrial mundial desde el año 1870 a 1952. [8]

De las cifras que figuran en el cuadro VI pueden deducirse los promedios de incremento anual de los índices de producción industrial mundial, los que alcanzaron a las cifras que se indican en el cuadro VII. [8]

CUADRO VII

Variación de los promedios de incremento anual de los índices de producción industrial mundial en el período 1870-1952

Intervalo de tiempo considerado	*Promedios del incremento anual del índice de producción %*
1870 — 1900	4.0
1900 — 1913	4.0
1920 — 1929	5.5
1932 — 1937	12.0
1946 — 1952	9.5

Los valores que aparecen en el cuadro VII ponen de manifiesto que en los cuarenta años de paz transcurridos a partir del año 1870, el desarrollo industrial del Mundo se efectuó regularmente y a razón de un incremento medio anual del índice de producción industrial igual al 4%.

El apreciable aumento experimentado por el incremento medio anual en el intervalo 1932-1937 debe atribuirse principalmente a la recuperación industrial. En cambio el promedio elevado correspondiente al intervalo 1946-1952 se atribuye en parte a la reconstrucción de la Industria y además, al gran desarrollo adquirido por las industrias químicas y la industria de los metales livianos. [8]

Este último promedio, si bien mayor que el previsto para el futuro en algunos países industrializados, es muy posible que se supere en algunos de los países desarrollados, así como en otros ubicados dentro de regiones del Mundo que se consideran actualmente como relativamente poco desarrolladas. [8]

Como alrededor de las dos terceras partes de la población mundial vive en regiones con pequeño o sin desarrollo industrial, sería di-

fícil encontrar argumentos para demostrar que en lo que resta del presente siglo el promedio de los incrementos anuales de los índices de producción industrial del Mundo pueda bajar más allá del 5%. ([8])

El mejoramiento de las técnicas de utilización de los combustibles. — Es interesante señalar que el aumento de los consumos de energía no van unidos a un aumento proporcional de los consumos de combustible. Esto se debe a los rápidos progresos alcanzados en las técnicas de utilización de los combustibles y a la mayor flexibilidad conseguida en las últimas décadas con el control de los consumos de petróleo y de gas natural.

Así por ejemplo, en las plantas termoeléctricas, el promedio de eficiencia se ha incrementado desde menos del 9% en 1920 hasta el 24% en 1952. ([8])

Se han producido también sustanciales aumentos en la eficiencia de utilización de los combustibles en las locomotoras. Durante el período comprendido entre los años 1929 y 1952 el consumo de combustibles en los ferrocarriles de la Clase I en los Estados Unidos, bajó desde más de 1,000 millones de megawatios-hora de electricidad equivalente, a menos de 500 millones de megawatios-hora, a pesar de que el tráfico de carga aumentó en ese período de 657,000 a 902,000 millones de tonelada-kilómetros y el tráfico de pasajeros se incrementó de 50 a 55 millones de pasajero-kilómetros. ([8])

Como resultado de estas mejoras en la eficiencia del uso de los combustibles, fué posible producir en el año 1952 en los Estados Unidos tres veces más energía de los combustibles quemados en las locomotoras y en las plantas termoeléctricas, que la energía generada en 1929 al quemar idénticas cantidades de combustible. ([8])

Debido al mejoramiento de las técnicas de utilización de los combustibles, en la primera mitad del presente siglo se registró un aumento anual del 3% en la producción de energía útil, mientras que sólo aumentaron en un 2% anual los consumos de combustibles primarios necesarios para generar aquella energía. ([9])

Las futuras demandas de energía. — Para llegar a la estimación de las demandas futuras de energía la Secretaría General de las Naciones Unidas ha examinado separadamente las probables velocidades de crecimiento de los sectores más importantes en el consumo de energía. Tales sectores son la Industria, el Consumo Doméstico, el Transporte y la Agricultura.

Suponiendo que se mantenga en la segunda mitad del presente siglo el incremento anual del 5% para el índice de productividad industrial, puede admitirse que las demandas de energía por la Industria aumenten también de acuerdo con un incremento anual del 5%. En tales condiciones las demandas de energía correspondientes a los años 1975 y 2000 serían respectivamente iguales a 18,000 millones de megawatios-hora y 60,000 millones de megawatios-hora.

Es más difícil estimar la forma como se distribuirán tales cantidades de energía entre los consumos de calor y de energía. En el año 1952 solamente el 10% de la energía consumida por la Industria fué utilizada bajo la forma de energía eléctrica; siendo sin embargo muy posible que aquel porcentaje experimente en el futuro un sensible aumento debido a que el uso de la electricidad en la Industria está aumentando mucho más rápidamente que la utilización de las otras especies de energía. Es por consiguiente posible que en los años 1975 y 2000, la sexta y la quinta parte de la energía consumida por la Industria lo sea bajo la forma de electricidad. Por este motivo es muy posible que los consumos anuales de energía eléctrica por la Industria lleguen respectivamente en aquellos años a las cantidades de 3,000 y 12,000 millones de megawatios-hora. ([8])

El consumo doméstico anual de energía calorífica que en el año 1952 se estimó en 2,900 millones de megawatios-hora, se supone que aumentará en 1975 y en el año 2000 a 4,600 y 7,500 millones de megawatios-hora respectivamente.

Del mismo modo el consumo doméstico anual de energía eléctrica pasará de 400 a 1,500 y 7,000 millones de megawatios-hora para los referidos años.

Si la población mundial alcanza en el año 2000 a los 4,700 millones de habitantes, las previsiones que se acaban de expresar indicarían un consumo doméstico mundial medio de energía eléctrica de unos 1,500 kilowatios-hora por cabeza. Para tener una idea de la importancia de esta cifra se indicará como punto de comparación, que el consumo doméstico medio anual de electricidad de los Estados Unidos fué en el año 1952 igual a 1,100 kilowatios-hora por habitante.

Las demandas de energía por el transporte

que en 1952 llegaron a 800 millones de megawatios-hora, se supone que llegarán a 2,500 millones en 1975 y a unos 8,000 millones de megawatios-hora en el año 2000.

Las fuentes de energía utilizadas para el transporte en los años 1975 y 2000 experimentarán una sensible modificación con respecto al año 1952. En todas las formas del transporte se hace notar la tendencia a desplazar al carbón y al fuel-oil pesado sustituyéndolos por destilados del petróleo o por gases petrolíferos licuados.

Con la extensiva dieselización futura de los transportes se esperan importantes mejoras en la eficiencia media de utilización de los combustibles, suponiéndose que la eficiencia media del 15% que prevaleció en 1952, aumentará al 25% en 1975 y llegará al 30% en el año 2000. (8)

mente basados en la mecanización de la Agricultura, la cual traerá como consecuencia la utilización creciente de los destilados del petróleo.

Se supone por ello que el consumo de destilados del petróleo por la Agricultura alcanzará a 100 millones de toneladas métricas en 1975 y que se elevará a 250 millones de toneladas métricas en el año 2000. (8)

En el cuadro VIII se han reunido las cifras correspondientes a los consumos de energía útil previstos para los años 1975 y 2000.

Los consumos de combustibles previstos para los años 1975 y 2000. — Las cantidades de combustibles necesarias para atender las demandas de energía que se indican en el cuadro VIII dependerán en gran parte de las fuentes de energía disponibles y de la eficiencia alcanzada en el uso de los combustibles.

CUADRO VIII

Consumos de energía útil previstos para los años 1975 y 2000
(En miles de millones de kilowatios-hora de electricidad equivalentes)

Sector de consumo	*Año 1952*	*Año 1975*	*Año 2000*
Industria	5,800	18,000	60,000
Consumo doméstico	3,300	6,000	15,000
Transporte	800	2,500	8,000
Agricultura	300	500	1,000
Totales	10,200	27,000	84,000

Sobre estas bases, puede calcularse que las demandas de combustibles líquidos para el transporte serán de 800 millones de toneladas en 1975 y de 2,300 millones de toneladas en el año 2000.

La energía consumida en la Agricultura en el año 1952 fué equivalente a 300 millones de megawatios-hora, esperándose que en los años 1975 y 2000 alcanzará a 500 y 1000 millones de megawatios-hora.

Aun cuando la mayor parte de la energía utilizada en la Agricultura en el año 1952 fué proporcionada por el hombre y las bestias de carga, se requerirán en el futuro cercano cambios radicales en este sector de la economía con el fin de intensificar la producción. Dichos cambios estarán fundamental-

De acuerdo con el examen de las exigencias particulares de determinados sectores del consumo de energía, se ha llegado a la conclusión de que las demandas de energía por el Transporte y la Agricultura serán atendidas con productos petrolíferos y que además, parte de las demandas de calor por la Industria serán proporcionados por el coke metalúrgico.

Las cantidades totales de energía que deberán atenderse sin exigencias particulares con respecto a la fuente de energía serían de 22,000 millones de megawatios-hora para el año 1975 y de 68,000 millones de megawatios-hora para el año 2000.

Si se admite que para atender las demandas de energía en el año 1975 se llegara a una eficiencia media del 30% en el consumo de los combustibles para la generación de electricidad (en 1952 fué del 22%) y a una eficiencia media del 60% en la producción de calor (en 1952 fué del 50%), el consumo mundial de combustibles y otras fuentes de energía en el año 1975 llegaría a 5,600 millones de toneladas de carbón equivalente, a las que habría que agregar 1,400 millones de toneladas de carbón equivalente para los productos petrolíferos utilizados en el transporte y la Agricultura, así como 500 millones de toneladas de carbón equivalente correspondientes al coke metalúrgico utilizado por la Industria. ([8])

Suponiendo que en el año 2000 la eficiencia media del consumo de combustibles en la generación de electricidad alcance al 40% y que la eficiencia en la producción de calor llegue al 70%, el consumo mundial de combustibles y otras fuentes de energía en el referido año alcanzará a 15,000 millones de toneladas de carbón equivalente, a las que habrá que agregar 3,700 millones de toneladas de carbón equivalente para los productos petrolíferos utilizados en el transporte y la Agricultura, así como 1,300 millones de toneladas de carbón equivalente correspondientes al coke metalúrgico utilizado por la Industria.

En el cuadro IX se han reunido las cifras que se acaban de establecer para los consumos de combustibles y otras fuentes de energía previstos para los años 1975 y 2000. ([8])

En el informe presentado por las Naciones a la Conferencia de Ginebra y del cual se han tomado las cifras que aparecen en los cuadros VIII y IX se ha dejado constancia de que se ha supuesto en los cálculos que dentro del período de tiempo considerado, cada sector de la economía evolucionará manteniéndose constante el porcentaje correspondiente al incremento anual previsto.

Esta suposición no parecería ser muy improbable en lo que concierne al período 1952-1975; pero aquella parece ya bastante especulativa al extenderla a un período que alcance casi a media centuria.

Es evidente que tal suposición significaría considerar en el análisis del problema al Mundo libre de guerras y de disturbios económicos. A pesar de ello fué necesario decidirse por este planteamiento del problema, con el fin de evitar el riesgo muy grande de subestimar las necesidades mundiales de energía frente a la disminución de las reservas de combustibles y otras fuentes de energía.

CUADRO IX

Consumos de combustibles y otras fuentes de energía necesarias para atender las demandas mundiales de energía en los años 1975 y 2000

(En millones de toneladas de carbón equivalente)

	Año 1975	*Año 2000*
Demandas generales de energía	5,600	15,000
Productos petrolíferos para el transporte y la Agricultura	1,400	3.700
Coke metalúrgico .	500	1,300
Totales	7,500	20,000

Referencias Bibliográficas

(1) W. L. Cisler. — The role which nuclear energy can play as an energy source in the next 25 to 50 years. Trabajo Nº 8/P/863 de la Conferencia Atómica de Ginebra (1955).

(2) Department des Affaires Economiques et Sociales des Nations Unies. — L'energie nucleaire dans le bilain energetique mondial futur. Trabajo Nº 8P/1116 de la Conferencia Atómica de Ginebra (1955).

(3) E. A. G. Robinson, G. H. Daniel. — The World's Need for a New Source of Energy. - Trabajo Nº 8/P/757 de la Conferencia Atómica de Ginebra (1955).

(4) United Nations. — World Energy Supplies in Selected Years 1929-1950. - Statistical Papers Serie J, Nº 1 (1952).

(5) Nations Unies. — L'Energie Nucleaire dans le Bilan Energetique Mondial Futur. - Trabajo Nº 8/P/1116 de la Conferencia Atómica de Ginebra (1955).

(6) United Nations. — Statistical Year book (1952).

(7) United Nations. — Monthly Bulletin of Statistics, April 1953.

(8) United Nations. — Wold Energy Requirements in 1975 and 2000. - Trabajo Nº 8/P/902 de la Conferencia Atómica de Ginebra (1955).

(9) P. Putnam. — Energy in the Future. - D. Van Nostrand Co., Inc., New York (1954).

CAPITULO II

Las reservas mundiales de energía

Factores que influyen sobre la utilización de las reservas de energía. — Hasta el momento actual los recursos básicos para la producción de calor y electricidad han sido: a) la energía calorífica liberada en la combustión del carbón, del petróleo, del gas natural y de la leña junto con otros combustibles de origen vegetal; así como, b) la energía de caída de las aguas.

Aun cuando las reservas de combustibles y de energía hidráulica son en su conjunto muy importantes frente a las necesidades energéticas del Mundo, no están geográficamente distribuídas con regularidad, ni se encuentran ubicadas junto a las principales fuentes de consumo.

Por este motivo, no ha sido posible utilizar todavía muchas reservas de energía debido a su ubicación geográfica desfavorable; mientras que otras fuentes de energía mejor situadas se han explotado en forma intensiva.

Por otra parte, razones de índole nacional o política han determinado en muchos casos la explotación de reservas de energía poco convenientes desde el punto de vista económico, pero cuya utilización ha permitido asegurar el respectivo abastecimiento nacional.

Resulta así que la disponibilidad de las fuentes de energía se encuentra afectada no sólo por factores inherentes a las propias fuentes, tales como la ubicación geográfica y la explotabilidad industrial, sino también por cuestiones de orden político-económico, que en muchos casos impiden o dificultan la fácil utilización de las reservas naturales de energía. (1)

La falta de correlación entre la desigual ubicación de las reservas y la localización dispar de las necesidades de energía se pone fácilmente de manifiesto si se considera, por ejemplo, que el Africa posee el 30% de las reservas de energía hidráulica y su consumo de energía hidroeléctrica en el año 1952 llegó apenas al 0.4% del consumo mundial. Por su parte, el Asia que cuenta con el 50% de las reservas de petróleo, sólo consumió en el año 1952 una cantidad equivalente al 4.5% del consumo mundial. (3)

La estimación de las reservas de combustibles fósiles. — Se presentan grandes dificultades e imprecisiones para la estimación de las reservas de energía bajo la forma de combustibles fósiles, así como para apreciar el grado de utilización de éstos en el futuro.

Así por ejemplo, hay dos formas de estimar las reservas de carbón: a) las reservas geológicas, correspondientes a la totalidad del carbón existente en la Tierra dentro de ciertos límites de profundidad y dentro de cierto espesor de filones; y b) las reservas explotables, que corresponden a las cantidades de carbón que son técnica y comercialmente extraíbles.

Las reservas geológicas son difíciles de estimar; siendo aun mayores las incertidumbres relativas a los factores técnicos y comerciales que determinan las cantidades de carbón que pueden extraerse. Por estos motivos, las estimaciones de diferente orígen relativas a las reservas de combustibles sólidos difieren considerablemente. (2)

Las informaciones más importantes de que se dispone con respecto a las reservas de carbón, corresponden a las estadísticas de la Conferencia Mundial de la Energía que comprenden a todos los carbones de valor comercial que existen en filones de 30 centímetros (un pie) o más de espesor y a profundidades no mayores de 1,200 metros (4,000 pies). Para el lignito y la turba, la profundidad de los yacimientos explotables debe ser inferior a los 500 metros (1,650 pies).

El U. S. Geological Survey ha hecho un estudio general de las reservas mundiales de carbón, teniendo presente las definiciones de la Conferencia Mundial de la Energía, llegando a la conclusión de que tales reservas serían del orden de los 6,000,000 millones de toneladas y que las reservas recuperables llegarían aproximadamente a la mitad de dicha cantidad.

En el cuadro X se indican las reservas mundiales de combustibles fósiles de acuerdo con los datos reunidos por la Secretaría general de las Naciones Unidas para la Conferencia de Ginebra. (3)

Las cifras que figuran en el cuadro X, igual que las del cuadro II, fueron calculadas sobre la base de que 1,000 kilowatios-hora equivalen aproximadamente a

125 kg. de carbón.
400 kg. de lignito.

83.3 kg. de petróleo o gasolina natural.
94.5 metros cúbicos de gas natural.

El total de las reservas utilizables de combustibles sólidos que se detallan en el cuadro X corresponderían aproximadamente a 4,000,000 millones de toneladas de carbón.

Las reservas de petróleo y de gas natural son mucho más difíciles de ubicar y de medir que las reservas de carbón; y debido en parte a esta razón, las reservas probadas de petróleo son muy pequeñas con respecto a la producción actual.

El número de años de producción, modo como generalmente se expresan las reservas probadas de petróleo, se ha mantenido en las dos últimas décadas en unos 30 años (World Oil, Enero 1955).

Las reservas de gas natural se estiman teniendo en cuenta la relación de producción gas/petróleo en los yacimientos, porque una gran parte del gas natural, aunque no todo, se produce asociado con el petróleo.

En los yacimientos de Estados Unidos se han producido en promedio 4,100 pies cúbicos de gas natural por barril de petróleo, estimándose que en el futuro dicha relación aumentará hasta 6,000 pies cúbicos por barril. (2)

Las reservas de energía hidráulica utilizable. — Como es antieconómico el transporte de la electricidad a grandes distancias, sólo puede utilizarse una fracción de las reservas totales de energía hidráulica de que dispone el Mundo.

Las reservas hidráulicas utilizables medidas a gasto mínimo, corresponderían a una potencia total de 550 millones de kilowatios. (4)

La potencia real desarrollada por las fuentes hidráulicas es generalmente 2 a 4 veces mayor que la potencia a gasto mínimo, pudiendo llegar a ser hasta 10 veces mayor. (2)

Suponiendo que la potencia total desarrollada por las reservas mundiales sea dos veces y media mayor que a gasto mínimo y admitiendo que las instalaciones hidroeléctricas funcionen con un coeficiente de carga del 45%, la explotación total de dichas reservas produciría anualmente 5,000,000 millones de kilowatios-hora.

En el cuadro XI se detalla la distribución de las reservas de energía hidráulica en el Mundo. (3)

La producción actual de energía hidroeléctrica representa alrededor de la tercera parte de la producción de energía eléctrica mundial, no siendo las reservas hidráulicas susceptibles de otros usos energéticos. Para estimar sus límites, la Secretaría General de las Na-

CUADRO X

Reservas mundiales utilizables de combustibles fósiles
(En miles de millones de kilowatios-hora de electricidad equivalente)

Continente o país	*Carbón y lignito en total*	*Petróleo*	*Gas natural*
Africa	614,345	243	—
América del Norte	12,406,064	50,642	66,157
América Central	26,098	2,832	354
América del Sur	139,800	18,610	199
Asia	3,191,426	131,892	849
Europa	5,106,831	2,070	3,482
Unión Soviética.	10,447,732	16,284	10,261
Oceanía	240,002	155	—
Totales	32,172,298	222,738	81,302

ciones Unidas ha establecido las siguientes hipótesis: a) los consumos de energía eléctrica continuarán duplicándose cada 10 años; y b) la proporción entre la generación de energía termoeléctrica e hidroeléctrica se mantendrá constante; es decir, la producción de energía hidroeléctrica se duplicará también cada 10 años. (3)

De acuerdo con tales bases, la producción anual de las plantas hidroeléctricas instaladas en el año 2000 alcanzarían a los 3,000,000 millones de kilowatios-hora, que con las eficiencias térmicas que se obtendrán en aquella fecha, correspondería a un consumo de 1,000 millones de toneladas de carbón.

CUADRO XI

Producción anual de energía correspondiente a las reservas mundiales de energía hidráulica
(En miles de millones de kilowatios-hora)

Continente o país	*Energía hidroeléctrica*
Africa	1,531
América del Norte	442
América Central	95
América del Sur	368
Asia	1,228
Europa	574
Unión Soviética	464
Oceanía	47
Total	4,749

Las reservas mundiales de energía. — En el cuadro XII se han reunido las cifras totales correspondientes a las reservas de combustibles fósiles y de energía hidroeléctrica disponibles para atender las necesidades de energía del Mundo.

Los valores correspondientes a las reservas mundiales de fuentes utilizables de energía que figuran en el cuadro XII se han expresado en millones de toneladas de carbón equivalente con el fin de facilitar el balance energético en el cual se tendrán en cuenta los valores correspondientes a los consumos de combustibles y otras fuentes de energía que figuran en el cuadro IX.

De acuerdo con el resumen que figura en el cuadro XII, realizado sobre la base de las cifras establecidas por la Secretaría General de las Naciones Unidas, las reservas mundiales de combustibles fósiles serían del orden de 4,000,000 millones de toneladas de carbón equivalente.

CUADRO XII

Reservas mundiales de fuentes utilizables de energía
(En millones de toneladas de carbón equivalente)

Combustibles sólidos	4,000,000
Petróleo	30,000
Gas natural	10,000
Total	4,040,000
Energía hidroeléctrica. Producción anual en el año 2000	1,000

Es interesante hacer notar que partiendo de datos de diferente origen y en algunos casos dispares, Robinson llegó a un resultado semejante. (2)

Según Robinson, las reservas de carbón serían del orden de 3,000,000 millones de toneladas; mientras que las reservas de petróleo alcanzarían a 1,000 millones de barriles que térmicamente equivaldrían a 200,000 millones de toneladas de carbón.

Por otra parte, las reservas de gas natural llegarían a 6,000 millones de pies cúbicos, equivalentes a 100,000 millones de toneladas de carbón.

Los esquistos petrolíferos y las arenas bituminosas representarían además una reserva de combustibles equivalente a 150,000 millones de toneladas de carbón.

Por consiguiente, según el balance de Robinson, las reservas de combustibles fósiles totalizarían en conjunto una cantidad equivalente a 3,450,000 millones de toneladas de carbón.

Referencias Bibliográficas

(1) **W. L. Cisler.** — The role which nuclear energy can play as an energy source in the next 25 to 50 years. - Trabajo Nº 8/P/863 de la Conferencia Atómica de Ginebra (1955).

(2) **E. A. G. Robinson, G. H. Daniel.** — The World's Need for a New Source of Energy. - Trabajo Nº 8/P/757 de la Conferencia Atómica de Ginebra (1955).

(3) **Nations Unies.** — L'energie nucleaire dans le bilan energetique mondial futur. - Trabajo Nº 8/P/1116 de la Conferencia Atómica de Ginebra (1955).

(4) **U. S. Geological Survey.** — Developed and potential water power of the World. - Circular Nº 329, Wáshington (1954).

CAPITULO III

El balance energético del mundo futuro

Consideraciones preliminares sobre la introducción de la energía atómica en el sistema energético mundial. — Las cifras que se han analizado en los capítulos anteriores, pueden resumirse en la siguiente forma:

1º Las demandas de energía en el año 2000 equivaldrán a un consumo de 20,000 millones de toneladas de carbón.

2º Salvo que la energía atómica resulte más conveniente que la energía hidroeléctrica, la producción de esta última al finalizar el presente siglo permitirá ahorrar unos 1,000 millones de toneladas de carbón por año.

En tales condiciones y en ausencia de la energía atómica, el consumo anual de combustibles fósiles en el año 2000 equivaldría a unos 19,000 millones de toneladas de carbón.

3º Si se considera que los consumos mundiales de combustibles fósiles en el año 1952 fueron del orden de 3,000 millones de toneladas de carbón equivalente, resultaría para el aumento de los consumos de combustibles en los próximos 45 años, un incremento anual del 3,9%.

4º Si se mantuviera en el futuro el incremento anual del 3,9% para los consumos de combustibles, las reservas de 4,000,000 millones de toneladas de carbón equivalente, se agotarían en el año 2140.

Es decir, que las reservas mundiales de combustibles fósiles apenas alcanzarían para dos siglos más.

Estas consideraciones ponen en evidencia la oportunidad de introducir a la energía atómica en el sistema energético mundial, que se encontraría así reforzado con una nueva fuente de energía, cuya potencialidad sería como mínimo, 23 veces mayor que el total de las reservas de combustibles fósiles actualmente utilizados. ([4])

Necesidad urgente de suplementar las actuales fuentes de energía. — La situación energética mundial es todavía mucho más apremiante que lo que se deduce de los razonamientos anteriores.

La experiencia ha demostrado que en algunos países se encuentran serias dificultades para atraer a los obreros a las minas de carbón, lo que se traduce en aumento de salarios y de costos de producción. Todo permite suponer que tales dificultades irán aumentando. Para formar idea sobre la repercusión que esto podrá tener en los futuros abastecimientos de energía, basta examinar el cuadro XII donde se pone en evidencia el carácter predominante de las reservas de combustibles sólidos.

Por otra parte, las cantidades de carbón que pueden extraerse anualmente de las minas tienden a un límite debido a que los progresos que se consiguen en las técnicas extractivas se encuentran compensados por el doble hecho de que las capas explotables son cada vez más profundas y a que la mano de obra disponible en las minas se hace cada vez más escasa. ([1])

Así por ejemplo, en el Reino Unido, la profundidad media de los estratos carboníferos en explotación que en el año 1924 era de 330 metros, llega actualmente a 400 metros. Las explotaciones de minas autorizadas después de 1947 corresponden a profundidades que van de 550 a 900 metros.

El aumento progresivo de la profundidad de explotación va además acompañado de un aumento de temperatura y provoca frecuentemente dificultades en la ventilación.

Para poder apreciar la importancia de las situaciones que pueden originarse como consecuencia de las dificultades crecientes que se presentan en la extracción del carbón, basta considerar la situación de Gran Bretaña cuyas reservas explotables de carbón se han avaluado en 172,000 millones de toneladas métricas. De acuerdo con las características de los yacimientos británicos, se estima que la máxima extracción posible de carbón en dicho país podría llegar a los 260 millones de toneladas métricas anuales. Esta última cantidad correspondería al consumo anual de combustibles previsto para el año 1986 en Gran Bretaña.

Es decir que a pesar de las importantes reservas de carbón que posee aquel país, antes de finalizar el presente siglo se vería obligado a importar, como ocurre actualmente en Francia, cuyas reservas de carbón han sido estimadas en 12,000 millones de toneladas métricas.

El límite de extracción del carbón en las minas francesas es de 55 millones de toneladas anuales, mientras que el consumo de carbón se encuentra hoy alrededor de los 70 millones de toneladas anuales. ([2])

Para poder apreciar la repercusión gravísima que podría tener el lento progreso de la minería del carbón sobre el futuro energético del Mundo basta tener en cuenta que la producción de carbón sólo ha aumentado en los últimos años a razón de un incremento igual al 0.5% de la producción anual. Si en el futuro fuera imposible acelerar dicha producción, en el año 2000 sólo se producirían alrededor de 2,000 millones de toneladas de carbón ([3]) siendo necesario atender una demanda de combustibles equivalente a 19,000 millones de toneladas.

Es decir, que en ausencia de la energía atómica y si no se modificaran radicalmente los sistemas de extracción del carbón de las minas, habría una demanda de combustibles equivalente a 17,000 millones de toneladas de carbón que sería necesario atender con petróleo y con gas natural, cuyas reservas se agotarían rápidamente, si no se hubieran agotado ya antes de finalizar el presente siglo.

La utilización de la energía atómica se anticipa por lo tanto a resolver uno de los más serios problemas que podrían presentarse a la Humanidad, dado que el lento crecimiento de la producción del carbón por una parte, así como el desarrollo también lento de la utilización de las reservas hidráulicas, harían difícil en un futuro relativamente cercano atender las demandas siempre aceleradas de energía.

Es interesante señalar que la crisis en los abastecimientos de energía que podrían originar las causas que se acaban de mencionar, podría alcanzar también dentro de 20 ó 25 años a los Estados Unidos, para el cual se calcula que las demandas de energía ascenderían entonces a 2,750 millones de toneladas de carbón equivalente, de las cuales 950 millones de toneladas corresponderían directamente al carbón.

Como la producción de carbón en los Estados Unidos alcanzó en 1954 a 392 millones de toneladas, se requeriría una notable intensificación de la producción carbonífera en el intervalo 1954-1975, para que puedan atenderse sin dificultades las demandas de carbón previstas para la última fecha. ([6])

Las reservas de combustibles nucleares. — Durante los últimos 15 años se han intensificado los esfuerzos para descubrir yacimientos de materiales como el uranio y el torio, utilizables como materia prima para la generación de la energía atómica.

Una gran parte de estas investigaciones permanecen secretas; sin embargo, los conocimientos que se han divulgado permiten afirmar que son muy vastas las reservas de combustibles nucleares. ([5])

Según Putnam ([4]) las reservas utilizables de combustibles nucleares representarían una cantidad de energía 23 veces mayor que la correspondiente al conjunto de combustibles fósiles: carbón, petróleo y gas natural.

El uranio es hoy la materia prima más importante para la elaboración de combustibles nucleares; siguiéndole el torio, respecto al cual son más imprecisas las informaciones sobre sus yacimientos.

En 1948 los abastecimientos de uranio a las Naciones Occidentales provenían exclusivamente de dos minas, una de ellas ubicada en el Congo Belga y la otra en el Norte de Canadá. Actualmente la mayor producción de uranio se encuentra distribuída entre el Congo Belga, Canadá, Sud Africa y Estados Unidos. Se presentan además perspectivas favorables para la producción de uranio en Australia, Francia y Portugal. ([7])

Una de las más importantes conclusiones a que se ha llegado examinando el resultado de las investigaciones realizadas en los últimos 7 años, es que se han encontrado yacimientos comercialmente explotables de uranio de considerable extensión en muchas regiones y bajo una gran diversidad de condiciones geológicas.

Se sabe desde mucho tiempo atrás que el uranio es tan abundante en la naturaleza como el zinc y el plomo; siendo además 100 veces más abundante que la plata. Sin embargo, se consideraba que eran escasos los depósitos de minerales con concentración uranífera comercialmente explotable.

De acuerdo con el actual desarrollo y las características geológicas de los yacimientos productores que abastecen al Occidente, se calcula que sus reservas de uranio contenidas en ellos se encontrarían comprendidas entre 1 y 2 millones de toneladas de uranio. ([7])

Sólo estas reservas de uranio equivaldrían térmicamente a la totalidad de las reservas de combustibles fósiles existentes.

Este uranio puede producirse a un costo moderado, el que se estima en un valor medio de 20 dólares el kg. de óxido (U_3O_8) de alta concentración. Se supone que el uranio de este origen atenderá las demandas de combustibles nucleares que se produzcan durante la primera etapa de expansión de la energía atómica.

En un futuro más remoto, las exigencias de la era atómica podrían ser satisfechas por grandes depósitos existentes de fosfatos y esquistos uraníferos.

Las reservas de fosfatos comercialmente explotables de los Estados Unidos se calculan en 5,000 millones de toneladas, con un contenido de uranio de 600,000 toneladas. Estas reservas se incrementarían notablemente si se incluyeran a grandes yacimientos de fosfatos con bajo contenido de uranio que actualmente no se consideran comercialmente explotables.

Si a estas reservas de uranio se agregan 85,000 millones de esquistos uraníferos marinos que contienen más de 25 gramos de uranio por tonelada, las reservas totales de uranio en los Estados Unidos serían del orden de 5 a 6 millones de toneladas. ([7])

Existen además en varias partes del Mundo otros yacimientos de fosfatos y esquistos uraníferos tanto o más importantes que los de los Estados Unidos. Entre estos yacimientos se encuentran los depósitos de fosfatos uraníferos de Marruecos avaluados en 20,000 millones de toneladas y los yacimientos de esquistos uraníferos de la Península Escandinávica y de otros territorios que baña el Mar Báltico.

La metalurgia del uranio ha sido objeto en los últimos años de notables adelantos, entre los cuales debe destacarse el empleo del intercambio iónico por medio de resinas y la extracción por disolventes.

El desarrollo alcanzado por la producción de los yacimientos de uranio, junto con el progreso de la metalurgia permitirían en el momento actual asegurar el abastecimiento de combustibles nucleares aun en el caso de que se produjera una rápida difusión en el Mundo del uso de la energía atómica.

El rol de la energía atómica en el Mundo futuro. — La Conferencia Internacional para el Uso de la Energía Atómica con Fines Pacíficos ha llegado a la conclusión de que es un hecho indiscutible la generación de la electricidad a partir de la energía atómica.

Los documentos presentados a la Conferencia, las disertaciones realizadas en ella por técnicos de renombre mundial, las películas informativas proyectadas durante la Conferencia, así como el abundante material exhibido en las Exposiciones que se realizaron simultáneamente, han demostrado el adelanto de la técnica relacionada con la generación de la electricidad utilizando el calor desarrollado en las pilas atómicas.

Para dar una idea de tal adelanto basta señalar que en el año 1956 se habilitará en Gran Bretaña la central atómica de Calder Hall (Cumberland) con una potencia de 50,000 kilowatios; y que en el año 1965 habrán en dicho país 12 centrales atómicas funcionando con una potencia total instalada de 1,5 a 2 millones de kilowatios, las que permitirán ahorrar por año de 5 a 6 millones de toneladas de carbón. ([8])

La expansión atómica de la industria eléctrica británica se proseguirá luego con ritmo tan acelerado, que en el año 1975 la potencia nuclear instalada será de 10 a 15 millones de kilowatios.

También en el año 1956 entrará en funcionamiento en los Estados Unidos la planta atómica de Shippingport (Pennsylvania) con una potencia de 70,000 kilowatios; y se prevé que en el año 1975 habrán en los Estados Unidos (país petrolero y carbonífero) centrales atómicas que en conjunto alcanzarán a una potencia de 40 a 65 millones de kilowatios, dentro de un programa energético general que tendrá una potencia instalada total de 300 a 400 millones de kilowatios. ([5])

La iniciativa adoptada por países como Gran Bretaña y los Estados Unidos, que no obstante sus importantes reservas de combustibles han previsto una intervención sustancial de la energía atómica en sus sistemas futuros de abastecimiento de energía, constituye una manifestación elocuente de la importancia que tendrá la nueva fuente de energía en el sistema energético mundial.

El presente adelanto de las técnicas relacionadas con la utilización de la energía atómica ha alcanzado un grado tal, que en la sesión de clausura de la Conferencia de Ginebra se hizo presente la conveniencia de que muchos países revisen sus programas de abastecimiento de energía con el fin de dar cabida en ellos a la generación de la energía núcleo-eléctrica; admitiéndose también que la difusión de los aspectos técnico y económico de la generación de la nueva especie de energía acelerará considerablemente la implantación de la energía atómica en numerosas regiones del Mundo dentro de los próximos veinte años.

La expansión de la energía atómica será considerable en el final del presente siglo en que las demandas de energía eléctrica serán enormes en todo el Mundo; y los reactores

El turbogenerador más grande de los Es- nucleares facilitarán en alto grado la ampliación de las grandes centrales.
tados Unidos es la unidad de 208,000 kilowatios instalada en la State Line Station de Chicago; en enero de 1956 entrará en funcionamiento una unidad de 225,000 kilowatios de la Tennessee Valley Autority, la que operará a la presión de 136 atmósferas (2,200 p.s.i.) y a 538°C (1,000°F).

Por otra parte, la Detroit Edison Co. y la Consolidated Edison Co. han encargado la construcción de unidades de 300,000 kilowatios que entrarán en servicio en 1957. ([9])

No es aventurado prever que al final del siglo sean comunes los turbogeneradores de un millón de kilowatios a los cuales los reactores nucleares proporcionarán vapor en la zona supercrítica con las temperaturas correspondientemente altas.

En muchos países la generación de la electricidad se concentrará en esa época en centrales con potencias del orden de los 5 millones de kilowatios que operarán con líneas de trasmisión de 550,000 voltios. ([9])

Importancia histórica de la Conferencia de Ginebra. — La Conferencia Internacional para el Uso de la Energía Atómica con Fines Pacíficos viene a señalar pués, en las páginas de la Historia de la Humanidad, el instante trascendental en que una nueva fuente de energía se pone al servicio del Hombre.

Nueva fuente de energía, que al suplementar las reservas de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos eliminará la posibilidad de que en un futuro relativamente cercano se vean comprometidas las reservas energéticas del Mundo y con ello el porvenir de la civilización actual.

Nueva fuente de energía, que por su fácil transporte hará accesibles a todos los lugares del Mundo los beneficios de nuestra civilización, siendo por ello un nuevo e importantísimo factor de progreso y de bienestar humano.

La utilización de la energía nucleoeléctrica eliminará todas las barreras existentes para el uso de la electricidad; y por ello todas las opiniones coinciden en afirmar que la era atómica se caracterizará por una intensificación notable del empleo de la energía eléctrica el cual traerá como consecuencia mejoramientos en los sistemas de vida que van más allá de toda imaginación.

El uso de la energía atómica con fines pacíficos traerá además aparejado un considerable incremento de la utilización de los radioisótopos que se generan en los reactores nucleares. La Conferencia de Ginebra dió a este punto una particular atención, habiéndose considerado desde puntos muy diversos las importantes aplicaciones que ha alcanzado ya el empleo de los radioisótopos en las diferentes ramas de la Ciencia y de la Técnica.

Referencias Bibliográficas

(1) **Nations Unies.** — L'energie nucleaire dans le bilan energetique mondial futur. - Trabajo Nº 8/P/1116 de la Conferencia Atómica de Ginebra (1955).

(2) **P. Ailleret.** — Estimation des besoins energetiques. - Trabajo Nº 8/P/326 de la Conferencia Atómica de Ginebra (1955).

(3) **E. A. G. Robinson.** — The World's need for a new source of energy. - Trabajo Nº 8/P/757 de la Conferencia Atómica de Ginebra (1955).

(4) **P. Putnam.** — Energy in the Future. — D. Van Nostrand Co., Inc., New York (1954).

(5) **W. L. Cisler.** — The role which nuclear energy can play as an energy source in the next 25 to 50 years. - Trabajo Nº 8/P/863 de la Conferencia Atómica de Ginebra (1955).

(6) **Ph. Sporn.** — The role of energy and the role of nuclear energy in the United States. - Trabajo Nº 8/P/468 de la Conferencia Atómica de Ginebra (1955).

(7) **J. C. Johnson.** — Nuclear fuel for the World Power Program. - Trabajo Nº 8/P/470 de la Conferencia Atómica de Ginebra (1955).

(8) **G. H. Daniel.** — The energy requirements of the United Kingdom. - Trabajo Nº 8/P/388 de la Conferencia Atómica de Ginebra (1955).

(9) **E. T. Tughes, N. C. Nelson.** — A century of growth of electric power requirements in The United States. - Trabajo Nº 8/P/469 de la Conferencia Atómica de Ginebra (1955).

SEGUNDA PARTE

LAS CENTRALES ATOMICAS DEL PRESENTE Y DEL FUTURO

CAPITULO IV

La transformación de la energía nuclear en energía eléctrica

Fundamentos de la generación de la energía nucleoeléctrica. — De acuerdo con las informaciones difundidas en la Conferencia de Ginebra, la implantación en el Mundo de la energía atómica no producirá cambios radicales en los sistemas actualmente empleados para la generación de la energía eléctrica en las centrales térmicas.

En las plantas atómicas el reactor nuclear es utilizado como fuente de energía térmica, la que posteriormente se convierte en electricidad. El reactor nuclear substituye por lo tanto a una parte del equipo de generación de vapor empleado en las centrales térmicas.

Varias comunicaciones presentadas a la Conferencia han demostrado que no existe por el momento una remota posibilidad de emplear en gran escala la transformación directa de la energía nuclear en energía eléctrica.

También hubo coincidencia de opiniones en que de acuerdo con los conocimientos científicos actuales, de los procesos nucleares descubiertos hasta ahora, la fisión nuclear es el único utilizable como fuente de energía térmica para la generación de electricidad en escala industrial.

El Presidente de la Delegación del Reino Unido, Sir John Cockroft, uno de los hombres de ciencia más notables de Gran Bretaña, hizo las siguientes declaraciones en una magistral exposición realizada en Ginebra: "Hubiera deseado hoy anunciar la fecha en que se realizará la brillante esperanza de la producción de electricidad por medio de la fusión nuclear. Estamos realizando en Gran Bretaña activas investigaciones dirigidas hacia aquel fin; pero mis elementos de juicio no me permiten en este instante anticipar predicciones".

Las plantas atómicas tendrán por consiguiente al reactor nuclear como fuente de generación de energía térmica y serán en muchos aspectos similares a las plantas termoeléctricas, puesto que en ambos casos el pasaje de la energía calorífica a la energía eléctrica se realizará por intermedio del vapor.

Los combustibles actuales serán sustituídos por sustancias fisionables como el uranio-235, el plutonio-239 y el uranio-233, los que bajo la acción del intenso flujo de neutrones que existe en los reactores nucleares se fisionarán liberando grandes cantidades de calor.

Los neutrones no sólo provocan la fisión de los combustibles nucleares, sino que al mismo tiempo originan la transmutación en sustancias fisionables de elementos tales como el uranio-238 y el torio-233, que abundan en la naturaleza y que bajo la acción de los neutrones se transforman respectivamente en plutonio-239 y en uranio-233.

Se denominan "materiales fértiles" a las sustancias que bajo la acción de los neutrones se convierten en materiales fisionables, comúnmente llamados "combustibles nucleares".

Características generales de los reactores nucleares para generación de energía. — Los reactores actualmente utilizables pueden clasificarse en dos grupos: reactores regeneradores y reactores reproductores.

En los reactores regeneradores se consumen las sustancias fisionables —el uranio-235, por ejemplo— y al mismo tiempo se convierten parcialmente los materiales fértiles en combustibles nucleares.

La relación de conversión en los reactores regeneradores es inferior a uno.

Los combustibles usados se someten posteriormente a un proceso químico para la recuperación de los combustibles nucleares y los materiales fértiles que podrían contener.

Los reactores nucleares reproductores contienen un conjunto de sustancias fisionables y materiales fértiles dispuestos en forma tal que pueda efectuarse la fisión atómica en forma continua y como reacción en cadena, simultáneamente con la conversión de los materiales fértiles en combustibles nucleares.

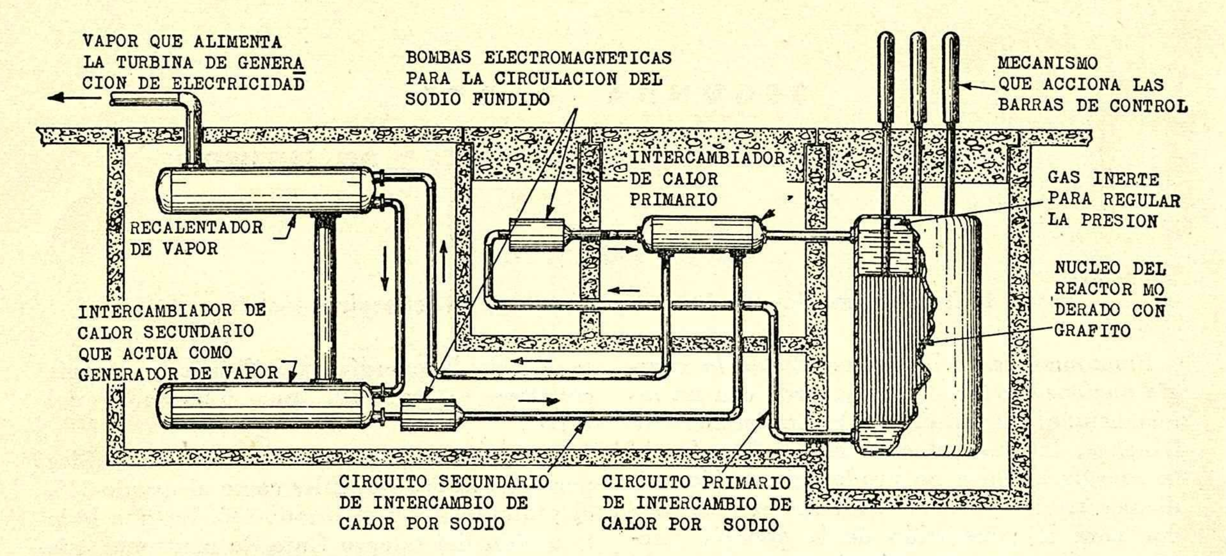


Figura 1. - Sistema nucleoeléctrico con reactor moderado con grafito y refrigerado con sodio fundido

La relación de conversión puede variar de 1 a 1.6. Estos reactores permiten consumir la totalidad del uranio contenido en el uranio natural.

La fisión atómica puede realizarse por la acción de neutrones rápidos o por neutrones lentos. En este último caso, los reactores poseen además sustancias moderadoras de la velocidad de los neutrones, tales como el grafito, el agua pesada y el agua común.

Luego de puesto en marcha un reactor nuclear, el flujo interior de neutrones aumenta, porque en la fisión nuclear se producen más neutrones de los que se consumen; por tal motivo, para regular la reacción o para detenerla, si se desea poner al reactor fuera de servicio, se introducen en el interior del mismo barras de acero o de aluminio enchapadas en boro o cadmio, sustancias que tienen un gran poder de absorción de neutrones.

Los fundamentos de la generación de energía eléctrica a partir del calor desarrollado en la fisión nuclear es a primera vista muy simple; sin embargo, por razones de diferente orden su realización práctica resulta difícil.

El reactor nuclear puede considerarse como un horno alimentado por el material fisionable, pues sirve para calentar un líquido o un gas en forma suficiente como para que el vapor producido o el gas caliente, puedan servir para accionar una máquina o turbina generadora de electricidad.

El problema de extraer rápidamente grandes cantidades de calor de los reactores nucleares no es fácil de resolver debido a que no existe ningún agente de enfriamiento que cumpla con las condiciones que debería llenar el fluído ideal. Además, los efectos combinados de la operación a elevadas temperaturas y de la presencia de neutrones y otras radiaciones emitidas por los productos de la fisión, imponen al circuito de enfriamiento limitaciones que excluyen por lo general a los sistemas de intercambio de calor utilizados comúnmente por la práctica industrial.

Sistemas nucleoeléctricos de perspectivas favorables. — Examinaremos a continuación algunos esquemas correspondientes a los sistemas de generación de energía nucleoeléctrica que se presentan actualmente con perspectivas más favorables [1].

El sistema nucleoeléctrico que ilustra el esquema de la figura 1 está provisto de un reactor lento moderado a grafito.

Se observan en el esquema las barras de control que regulan el funcionamiento del reactor.

La refrigeración del reactor se realiza por medio de sodio fundido impulsado a través del circuito por medio de una bomba electromagnética.

El empleo del sodio metálico como fluído de enfriamiento tiene la ventaja de que permite operar a altas temperaturas con una elevada eficiencia térmica.

El sodio se torna radioactivo bajo la acción del flujo de neutrones que hay en el interior del reactor. Por ese motivo el intercambio de calor con el generador de vapor

VAPOR QUE ALIMENTA LA TURBINA DE GENERACION DE ELECTRICIDAD

TANQUE DE ALMACENAJE DE SODIO FUNDIDO

SUPER RECALENTADOR DE VAPOR

INTERCAMBIADOR DE CALOR QUE ACTUA SIMULTANEAMENTE COMO GENERADOR DE VAPOR

INTERCAMBIADOR DE CALOR PRIMARIO

NUCLEO DE COMBUSTIBLE

RECIPIENTE QUE CONTIENE EL REACTOR

ENVOLVENTE DE MATERIAL FERTIL PARA LA REPRODUCCION

TANQUE DE SODIO FUNDIDO

TANQUE DE SODIO FUNDIDO

CIRCUITO SECUNDARIO DE INTERCAMBIO DE CALOR POR SODIO FUNDIDO

BOMBAS ELECTROMAGNETICAS PARA CIRCULACION DEL SODIO FUNDIDO

CIRCUITO PRIMARIO DE INTERCAMBIO DE CALOR POR SODIO FUNDIDO

Figura 2. - Sistema nucleoeléctrico con reactor reproductor rápido y refrigerado con sodio metálico

se efectúa mediante un circuito secundario también alimentado con sodio metálico fundido.

La compañía estadounidense Consumers Public Powers de Nebraska ha iniciado la construcción de una planta nucleoeléctrica del tipo grafito-sodio, la que tendrá una potencia de 75,000 kW y entrará en funcionamiento en 1959.

También se ha previsto la refrigeración por sodio metálico en el sistema que ilustra la figura 2 [1].

El reactor es del tipo rápido-reproductor. El núcleo activo está formado por plutonio y algo de uranio-238. La fisión del plutonio es la que mantiene la reacción nuclear, al mismo tiempo que el exceso de neutrones que escapa del núcleo activo provoca la transmutación en plutonio del uranio-238 que forma la envolvente del reactor. De esta manera, simultáneamente con la desaparición del plutonio fisionado, se forman nuevas cantidades de sustancia fisionable a expensas del material fértil que constituye la envolvente de este reactor reproductor.

El circuito de intercambio de calor se simplifica notablemente cuando se utilizan el agua o el agua pesada, quienes desempeñan simultáneamente las funciones de moderador y de fluído de enfriamiento.

El esquema que ilustra la figura 3 corresponde a un reactor lento en el cual los elementos de combustible se encuentran sumergidos en el líquido moderador que actúa también como refrigerante [1].

Las características de los elementos de combustible dependen fundamentalmente del líquido utilizado en el reactor.

Si se emplea agua, debido a que este líquido tiene una elevada capacidad de absorción de neutrones, deben emplearse elementos de combustible muy ricos en materiales fisionables como el uranio-235 o el plutonio. En cambio el uso del agua pesada, cuya capacidad de absorción de neutrones es muy baja, permite el empleo de elementos de combustible a base de uranio natural ligeramente enriquecido.

Como la radioactividad adquirida por el agua o el agua pesada al circular por el re-

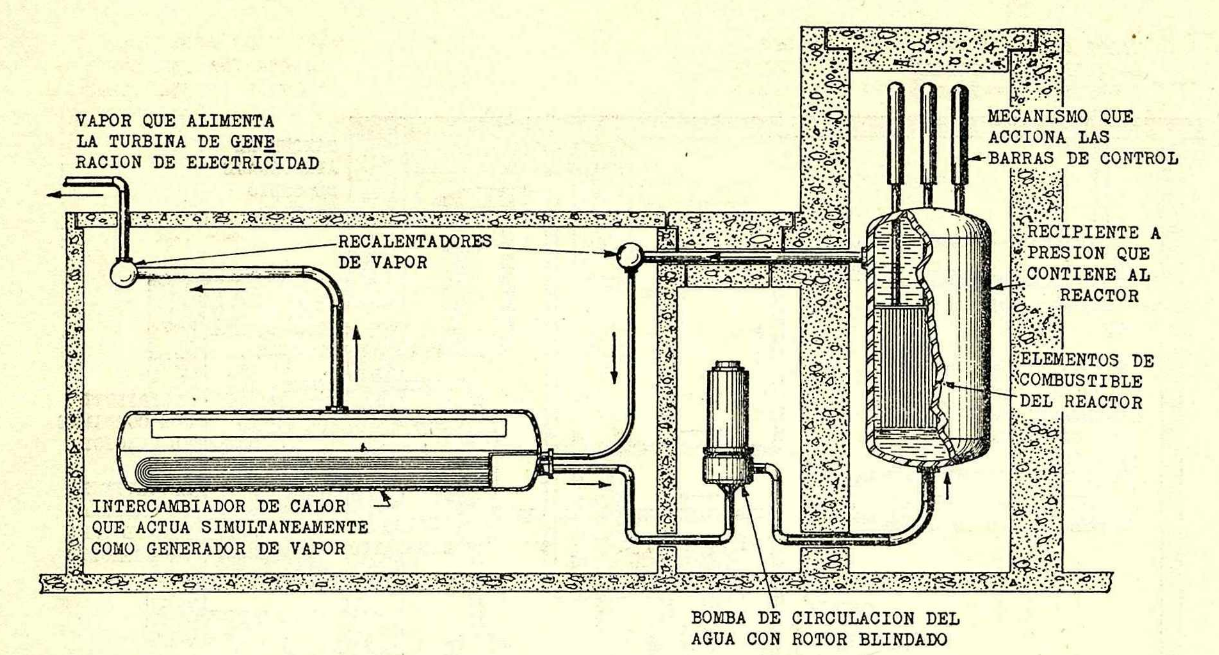


Figura 3. - Sistema nucleoeléctrico con reactor lento moderado y refrigerado con agua o con agua pesada

actor es muy inferior a la radioactividad adquirida por el sodio, el sistema sólo requiere un circuito único de intercambio de calor.

Este sistema nucleoeléctrico parece ser de los más promisores y ha sido elegido para la central atómica de Shippingport a que nos referiremos más adelante.

La Compañía estadounidense Consolidated Edison ha iniciado la construcción de una planta atómica de este tipo con una potencia de 236,000 kilowatios, la que se terminará en 1959.

Una característica interesante de esta planta es que la potencia térmica debida al reactor nuclear será de 140,000 kilowatios; y se aumentará luego a 236,000 por medio de recalentadores calentados con petróleo. La planta de la Consolidated Edison será por consiguiente un ejemplo de planta mixta atómico-térmica.

Examinaremos a continuación el esquema de una planta experimental con reactor homogéneo reproductor, que se construye actualmente en el Laboratorio Nacional de Oak Ridge (Tennessee) (1).

El núcleo del reactor contiene una solución diluída de sulfato de uranilo a base de U-233, disuelto en agua pesada. La mayor parte del calor se genera en el seno de la solución, la que por medio de una bomba circula en forma contínua por el intercambiador de calor.

El recipiente que contiene la solución de combustible nuclear se encuentra dentro del seno de una dispersión de óxido de torio en agua pesada. Los neutrones que escapan del recipiente interior en donde se produce la fisión nuclear, producen la transmutación del torio en uranio-233 fisionable.

Este reactor trabaja por consiguiente como reactor reproductor. Al mismo tiempo que se fisiona el uranio-233 disuelto que se utiliza como combustible nuclear, se producen nuevas cantidades del mismo combustible a expensas del óxido de torio disperso en la envolvente de material fértil.

La planta experimental de Oak Ridge se terminará en el año 1959, tendrá una potencia de 16,000 kilowatios y su costo será de U$S 44,000,000.

Es interesante comparar el costo de esta planta con el costo de U$S 55,000,000 correspondiente a la planta de 236,000 kilowatios de la Consolidated Edison. A la planta experimental de Oak Ridge corresponde un costo unitario de U$S 2,750 por kilowatio; mientras que el costo de la planta industrial de la Consolidated Edison es solamente de U$S 230 por kilowatio.

Esta gran diferencia de costos unitarios de instalación pone de manifiesto el esfuerzo enorme que se está realizando actualmente dentro del campo de la investigación técnica

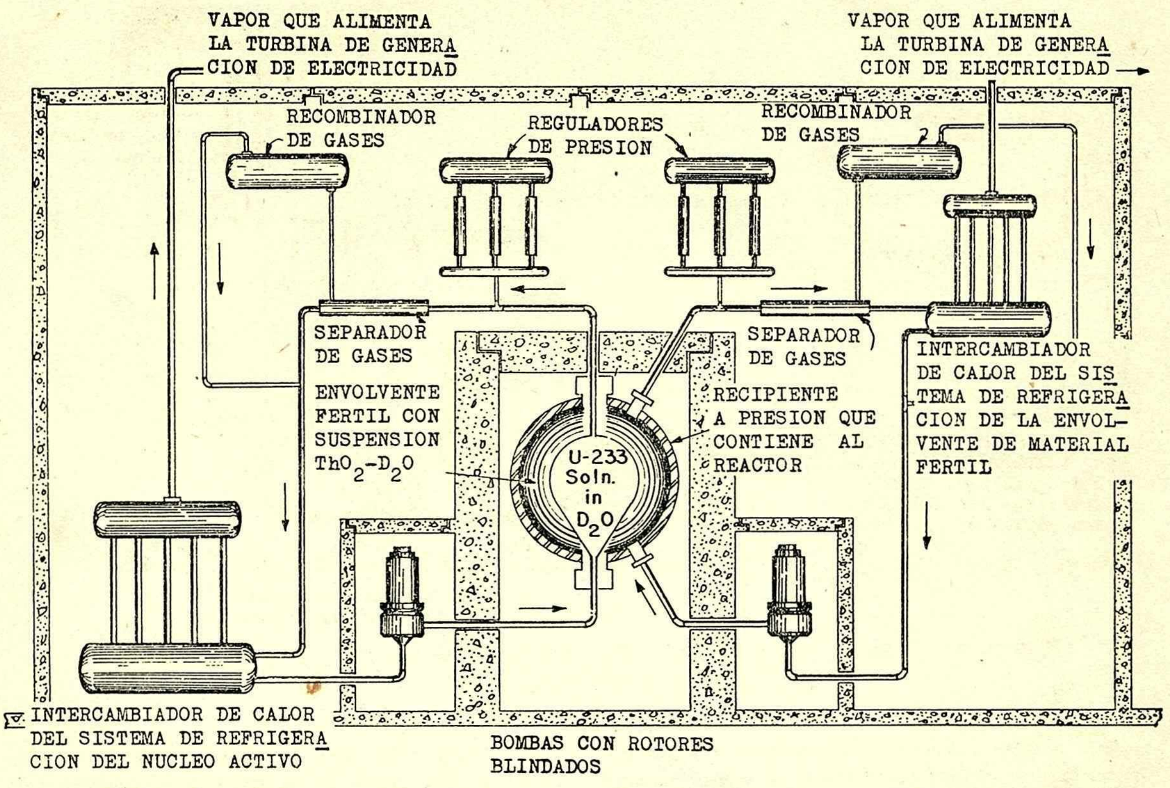


Figura 4. - Sistema nucleoeléctrico con reactor homogéneo reproductor moderado con agua pesada

con el fin de resolver los importantísimos problemas relacionados con el empleo de reactores reproductores en la generación de energía nucleoeléctrica.

El porvenir de la utilización de la energía atómica depende fundamentalmente de los progresos que puedan alcanzarse en la tecnología de los reactores reproductores; pues estos constituyen el único tipo de reactor que puede utilizar la mayor parte de la energía calorífica potencial contenida en los combustibles nucleares del presente.

De los reactores nucleares hasta ahora construídos no hay ninguno que haya alcanzado el nivel de perfeccionamiento requerido para justificar su empleo universal. Sin embargo son de tal importancia las investigaciones que se efectúan actualmente, así como los adelantos conseguidos en varias ramas de la Tecnología de los reactores nucleares, que existe el firme convencimiento de que se logrará muy pronto el fin propuesto.

La confianza en el éxito de esta empresa se pone de manifiesto por las sumas enormes que se invierten en la construcción de las grandes plantas atómicas que se están terminando y que a partir del año próximo generarán energía nucleoeléctrica en gran escala.

Dichas plantas están provistas de unidades intercambiables que permitirán ajustar las instalaciones a los perfeccionamientos que puedan producirse en un futuro inmediato dentro del campo de la generación de la energía atómica.

Para dar una idea del estado actual del desarrollo de esta Técnica, examinaremos brevemente algunas de las plantas atómicas que se sometieron a la consideración de la Conferencia de Ginebra; haciendo notar que los cálculos económicos indican que en las plantas atómicas de potencias comprendidas entre 100,000 y 200,000 kilowatios, el costo del kilowatio-hora generado oscilaría entre 5 y 7 milésimos de dólar, o sea entre 17 y 25 milésimos de peso uruguayo.

La competencia entre la energía núcleoeléctrica, la energía termoeléctrica y la energía hidroeléctrica dependerá en gran parte de los costos de generación. Hay numerosos países que no cuentan con recursos hidráulicos y donde el costo del combustible es caro; en ellos, la energía atómica vendrá a resolver

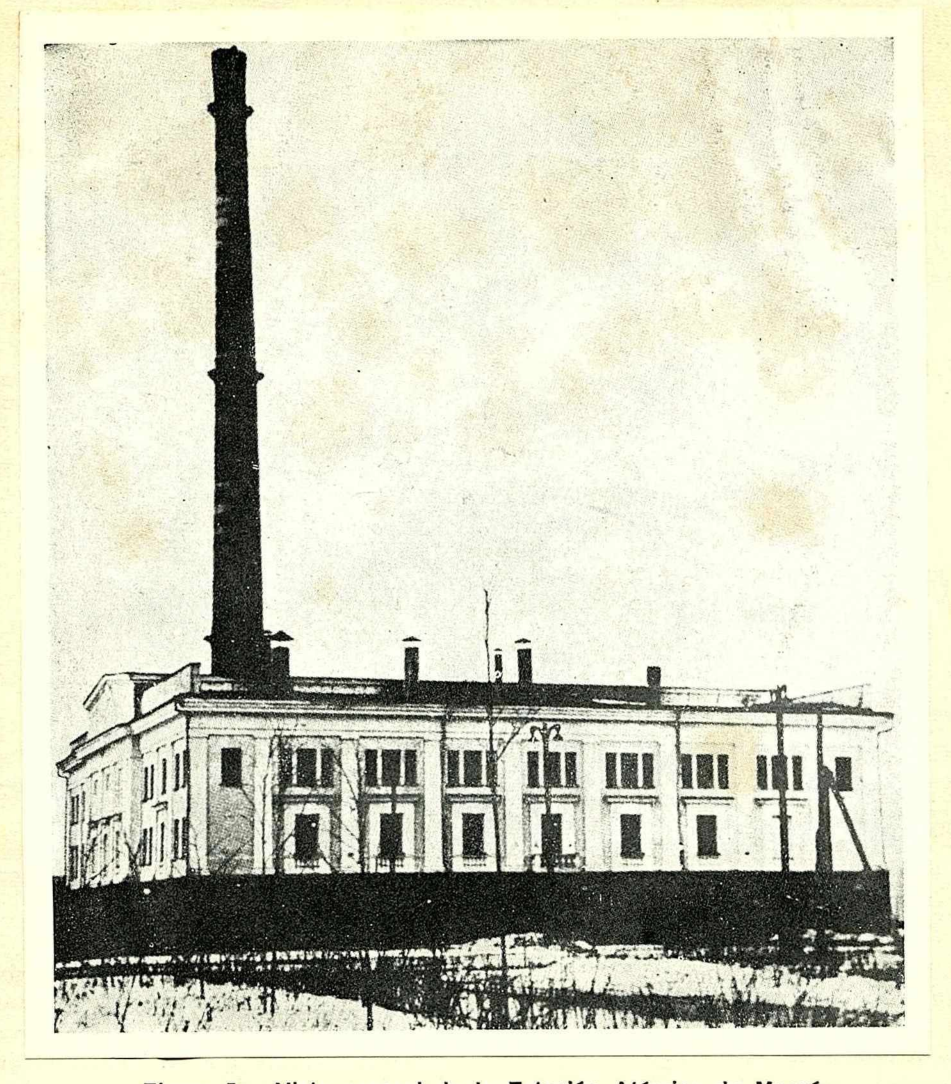


Figura 5. - Vista general de la Estación Atómica de Moscú

un importantísimo problema.

Sin adelantarnos a emitir opiniones sobre la situación energética del Uruguay, señalaremos solamente que en el año 1952 el costo del kilowatio-hora térmico fué del orden de los 50 milésimos (U$S 0,015), con un factor de carga del 22 %; mientras que el costo aproximado de la energía hidroeléctrica puesta en Montevideo fué de unos 16 milésimos, (U$S 0,005), siendo el factor de carga del 41 %.

CAPITULO V

Las primeras Centrales Atómicas

La primera estación atómica de la Unión Soviética. — La mañana del 9 de agosto fué pródiga en acontecimientos sensacionales para la Conferencia Internacional para el Uso de la Energía Atómica con Fines Pacíficos.

El programa a desarrollar se había difundido como de costumbre con 24 horas de anticipación y la prensa matinal de Ginebra llenaba sus primeras páginas con el anuncio de los importantes temas a considerarse: el Profesor Blokhintsev, Jefe de la Central Atómica de Moscú, haría público por primera vez para el Mundo Occidental, los resultados obtenidos con el funcionamiento de la primera planta de generación de energía nucleoeléctrica de la Unión Soviética. Por su parte, el Doc-

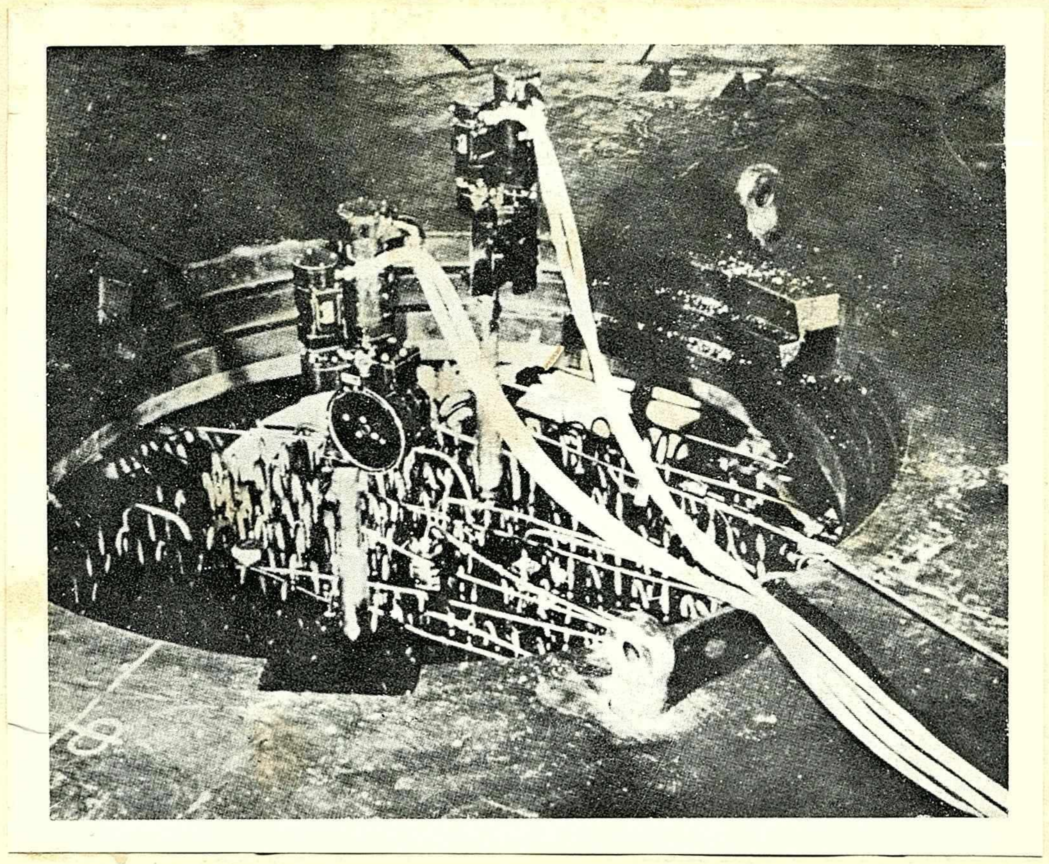


Figura 6. - Parte superior del reactor nuclear de la Central Atómica de Moscú. Se observan los servomotores que accionan las barras de control

tor Zinn, Director del Laboratorio Nacional de Argonne (Illinois), informaría sobre la más importante y moderna planta experimental de generación de energía nucleoeléctrica de los Estados Unidos.

La construcción de la Central Atómica de Moscú se terminó en junio de 1954. Tiene una potencia efectiva de 5,000 kilowatios y está provista de un reactor lento moredado a grafito y refrigerado con agua (2).

La realización de esta Central Atómica, cuyo aspecto exterior ilustra la figura 5, constituyó la culminación del esfuerzo realizado por un importante grupo de físicos, ingenieros, tecnólogos y muchos otros especialistas, con una extensa cooperación por parte de la Ciencia y de la Industria.

El elemento más importante de la Central lo constituye el reactor nuclear formado por elementos de combustible con uranio natural enriquecido con un 5 % de uranio-235. Los elementos de combustible se encuentran contenidos dentro de una estructura moderadora de grafito, dentro de la cual circula agua a la presión de 100 atmósferas que actúa como flúido refrigerante (2).

En la figura 6 aparece una vista de la parte superior del reactor el cual tiene 128 elementos de combustible contenidos dentro de una doble camisa metálica cilíndrica por donde circula el agua de refrigeración. Por medio de dispositivos automáticos se pone el reactor fuera de servicio si la temperatura del agua se aproxima a 309°C, evitándose así la ebullición.

Se observan en la figura los servomecanismos que accionan las barras de control formadas por carburo de boro y que tienen por objeto mantener el flujo de neutrones del interior del reactor dentro de los límites requeridos por el correcto funcionamiento de éste.

Si la temperatura del reactor aumenta, como consecuencia de una mayor intensidad de la reacción nuclear, se introducen las barras de control dentro del reactor para reducir el flujo de neutrones y con ello disminuye el número de fisiones atómicas que se producen por unidad de tiempo. Cuando el reactor está fuera de servicio, las barras de control están introducidas totalmente dentro del reactor.

Los estudios económicos demostraron que

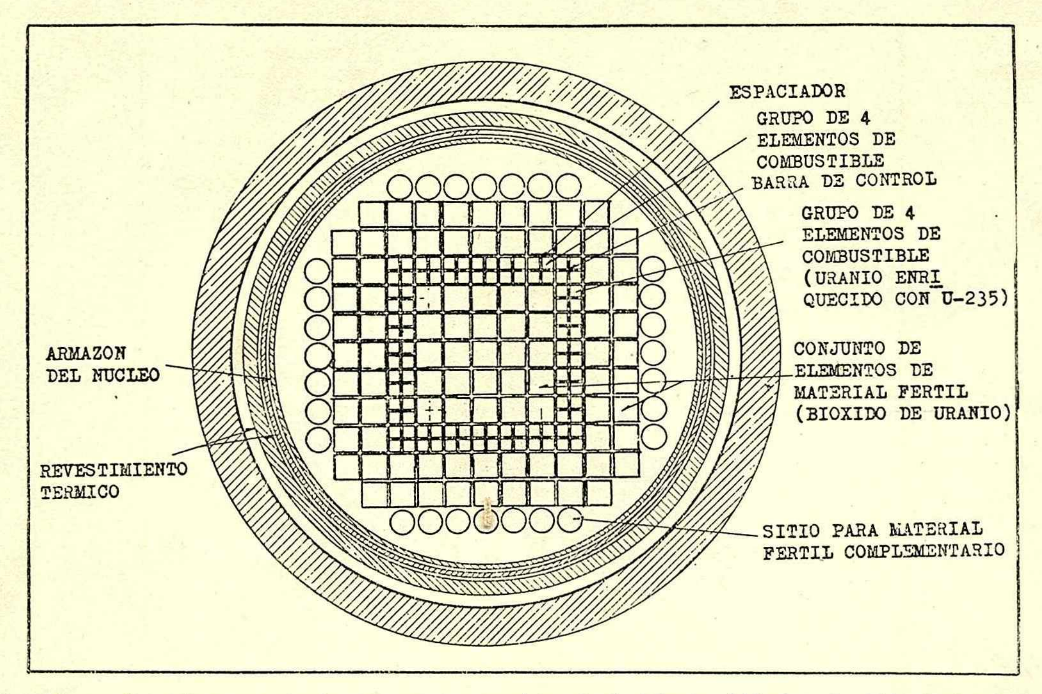


Figura 7. - Vista en planta del reactor nuclear de la Planta Atómica de Shippingport

aun cuando el costo del kilowatio-hora de energía generada en la Central Atómica de Moscú excede considerablemente del costo medio del kilowatio-hora producido en las grandes plantas de la Unión Soviética, aquel costo es comparable a los costos de generación obtenidos en plantas térmicas de 1,000 a 5,000 kilowatios de potencia ([2]).

El elevado costo de la energía producida en esta planta atómica se debe a la reducida potencia de la Estación, al alto costo de preparación de los elementos de combustible y a un elevado consumo de uranio-235 debido al pequeño tamaño de la planta y a otras peculiaridades de la misma que serán perfeccionadas.

La Central Atómica de Shippingport. — El Doctor Zinn, una de las personalidades más destacadas de la Ingeniería Nuclear de los Estados Unidos, tuvo el raro privilegio de ocupar en dos oportunidades la alta cátedra de la sala de asambleas del Palacio de las Naciones, para presentar ante la Conferencia Atómica dos temas de singular interés.

Ante una espectativa general, debida en parte a su brillante y espectacular intervención anterior, el Doctor Zinn hizo una reseña sobre la Central Atómica de 60,000 kilowatios que se construye en Shippingport (Pennsylvania) y que entrará en funcionamiento en el año próximo.

La Planta de Shippingport consta de un reactor nuclear de características muy interesantes, proyectado por la División Energía Atómica de la Westinghouse con la colaboración de los técnicos de la Comisión de la Energía Atómica de los Estados Unidos ([3]).

El reactor nuclear es refrigerado por agua a presión, la cual transporta el calor a un intercambiador que actúa como generador de vapor.

El vapor alimenta finalmente un turbogenerador de electricidad proyectado y realizado por la Duquesne Light Co.

La Planta de Shippingport será la primera que genere energía eléctrica a escala industrial utilizando un reactor reproductor. Por ello la experiencia que se consiga con su funcionamiento será de la mayor importancia para el futuro inmediato de la generación de la energía atómica.

En la figura 7 se indica esquemáticamente la disposición que presenta el reactor visto desde la parte superior ([3]).

El reactor nuclear está contenido dentro de un recipiente cilíndrico de acero, revestido interiormente con chapas de acero inoxidable. El recipiente tiene unos 3 metros de diámetro interior y una altura de 10 metros.

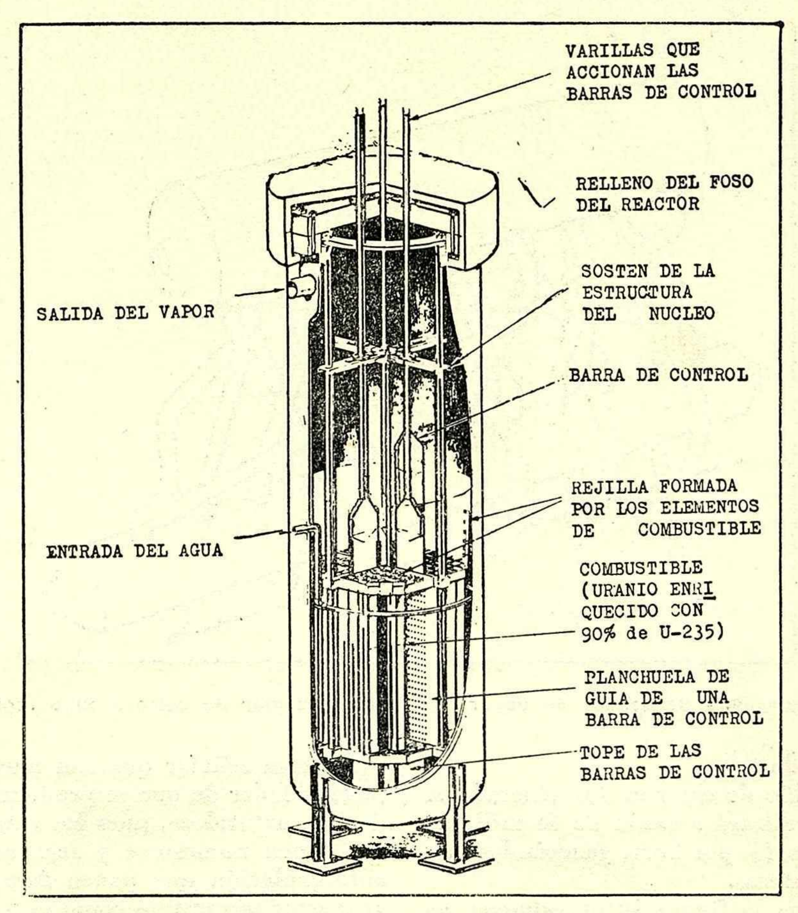


Figura 8. - Vista general del reactor nuclear de la Planta Atómica de Shippingport

Se destacan en la figura los principales constituyentes de este reactor reproductor. En la parte central y distribuídos formando un prisma hueco de sección cuadrada, se encuentran los elementos de combustible en los que el agente activo es uranio muy enriquecido con uranio-235. Es en esa región donde se realiza la fisión nuclear y donde se desplazan las barras de control cuyas secciones aparecen en la figura en forma de cruz.

En el interior del prisma, así como en la parte exterior del mismo, se ha dispuesto el material fértil, constituído por bióxido de uranio natural. Los neutrones que escapan hacia el interior o hacia el exterior de la zona de fisión, reaccionan con el uranio del bióxido, transformándolo en plutonio, el que a su vez es fisionable.

En la figura 8 aparece una vista general del reactor ([3]).

Se observan en dicha figura las barras de control que permiten regular a voluntad la puesta en marcha y el funcionamiento del reactor; notándose también los orificios de entrada y de salida del agua que actúa como moderador y al mismo tiempo como agente de refrigeración.

La refrigeración se efectúa utilizando agua de gran pureza a la presión de 140 atmósferas, pudiendo llegar la temperatura del agua en el interior del reactor a 330°C.

Los intercambiadores de calor actúan al mismo tiempo como generadores de vapor, están constituídos totalmente con acero inoxidable y han sido objeto de un especial diseño. Se han instalado generadores de dos tipos con el fin de determinar experimentalmente el que mayor convenga.

En la figura 9 se indica el esquema del generador de vapor con intercambiador de calor a tubo recto, situado en la parte inferior ([3]).

Dentro del circuito primario circularán 3,800 metros cúbicos de agua por hora, a través de 2,096 tubos que proporcionarán una superficie de intercambio de calor de 760

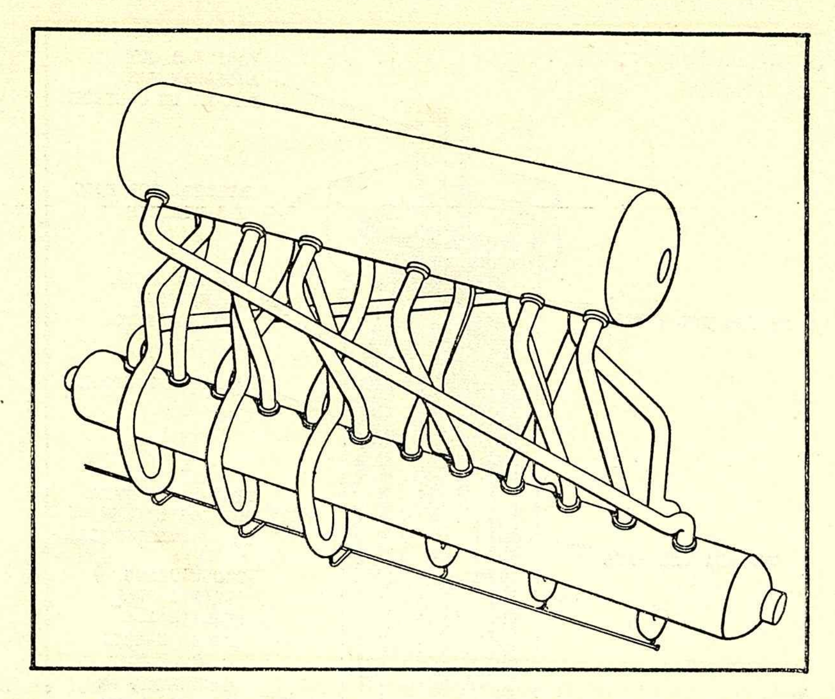


Figura 9. - Generador de vapor con intercambiador de calor a tubo recto

metros cuadrados.

El intercambio de calor en los generadores de vapor se realizará a razón de 66 millones de grandes calorías por hora, generándose vapor a 42 atmósferas.

Se observa en la figura 10 el esquema correspondiente al generador de vapor con intercambiador de calor a tubo en U ([3]).

La superficie de calefacción de este intercambiador será de 810 metros cuadrados. Los separadores de vapor y el tambor superior serán de acero y su diseño se adapta a las características corrientes en esa clase de instalaciones.

Para dar una idea de las dimensiones del generador de vapor basta tener en cuenta que el tambor superior tiene 1.50 m. de diámetro y 8.00 m. de longitud.

Con el fin de evitar cualquier riesgo de escape a la atmósfera de vapores o gases radioactivos provenientes del reactor o de los circuitos por donde circula el agua de refrigeración, las unidades que componen esta planta de generación nucleoeléctrica estarán encerradas dentro de recintos herméticos, como lo indica la figura 11.

Las paredes de estos recintos han sido calculadas para resistir los esfuerzos que podrían producirse en caso de un desperfecto en el reactor o de la explosión de los generadores de vapor.

Interesa señalar que son muy remotas las posibilidades de que se produzcan accidentes de esta naturaleza, pues los reactores nucleares tienen numerosos y seguros sistemas de autoregulación que ponen fuera de servicio al reactor tan pronto como se manifiestan las primeras indicaciones de un funcionamiento irregular.

Se observan en la figura 11 el reactor nuclear situado en la parte central y dos de los cuatro circuitos de intercambio de calor mediante los cuales se genera el vapor que acciona el turbogenerador.

La Central de Shippingport formará parte del sistema metropolitano de distribución de energía eléctrica de la Duquesne Light Company, cuya potencia actual es de 1,200,000 kilowatios y que atiende una zona de 2,100 kilómetros cuadrados, dentro de la cual se encuentra la ciudad de Pittsburg ([3]).

Esta Central no sólo será la primera gran planta atómica de los Estados Unidos, sino que al mismo tiempo, será la primera del Mundo que genere electricidad y que al mismo tiempo produzca materiales fisionables por medio de su reactor reproductor.

La Central Atómica de Calder Hall. — Los aplausos más o menos entusiastas con que los delegados recibían la exposición de las memorias en la Conferencia Atómica de Gine-

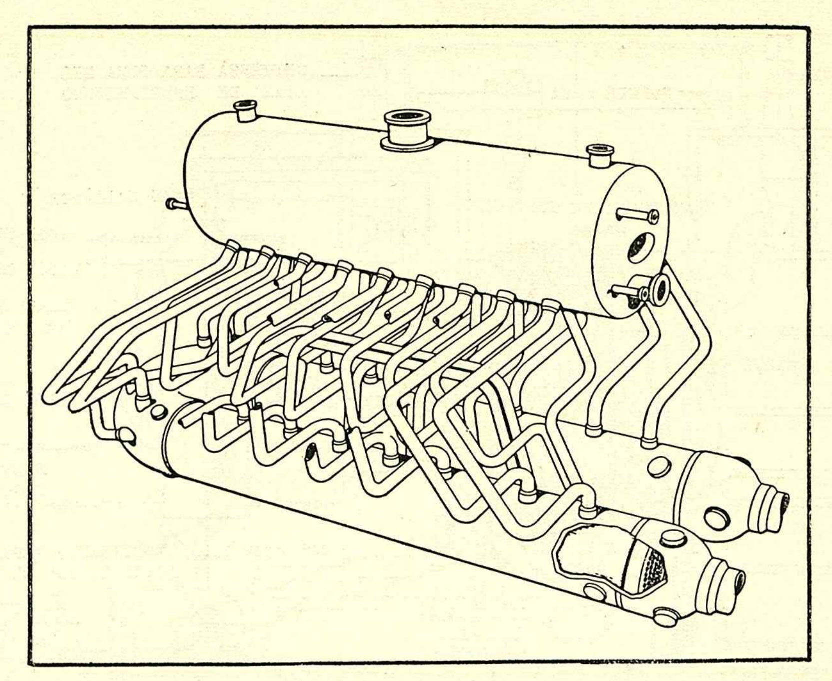


Figura 10. - Generador de vapor con intercambiador de calor a tubo en U

bra, se tornaron en una sostenida ovación cuando en la tarde del 15 de agosto Sir Christopher Hinton terminó su magistral disertación sobre la Central Atómica Británica de Calder Hall, cuya potencia será de 50,000 kW.

Posiblemente nunca hasta entonces, había actuado un orador científico ante una concurrencia tan numerosa y calificada, la que se había congregado para escuchar con verdadera expectativa una exposición que se había precedido de una propaganda difícil de igualar.

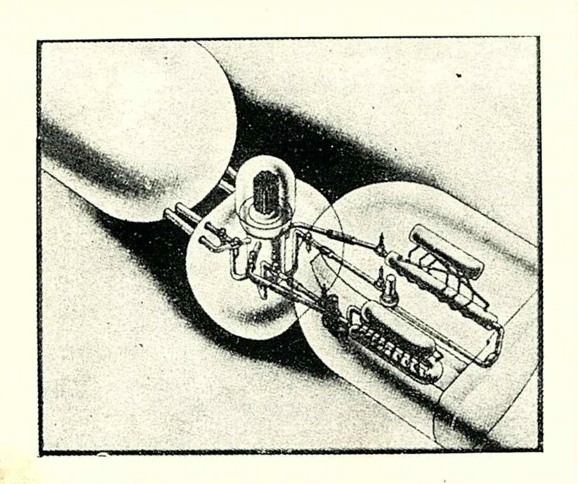


Figura 11. - Vista general de las cubiertas de seguridad que encierran las unidades de generación de energía núcleoeléctrica de la Planta de Shippingport

En el momento de presentarse Sir Christopher Hinton frente a la concurrencia que colmaba la inmensa sala de asambleas del Palacio de las Naciones era sin duda la figura más popular de la Conferencia de Ginebra, habiendo conquistado esta popularidad con la exhibición de la soberbia película sobre la Central de Calder Hall, que desde hacía más de una semana mantenía completa la sala de proyecciones cinematográficas del Palacio.

Aun cuando la Central de Calder Hall no tiene, desde el punto de vista atómico, el interés que da a la Central de Shippingport su reactor reproductor; es indudable que la planta atómica británica es una obra maestra de Ingeniería, de la cual fué posible seguir sus etapas constructivas más importantes a través de la película documental que pone en evidencia el esfuerzo magnífico realizado por Sir Christopher Hinton, alma mater de la obra.

En la figura 12 se indica un esquema de la unidad atómica de la Central de Calder Hall ([4]).

El reactor nuclear es del tipo uranio-grafito, con refrigeración a gas carbónico.

Se eligió para esta planta un reactor moderado con grafito y enfriado con gas, por sus grandes condiciones de seguridad de ope-

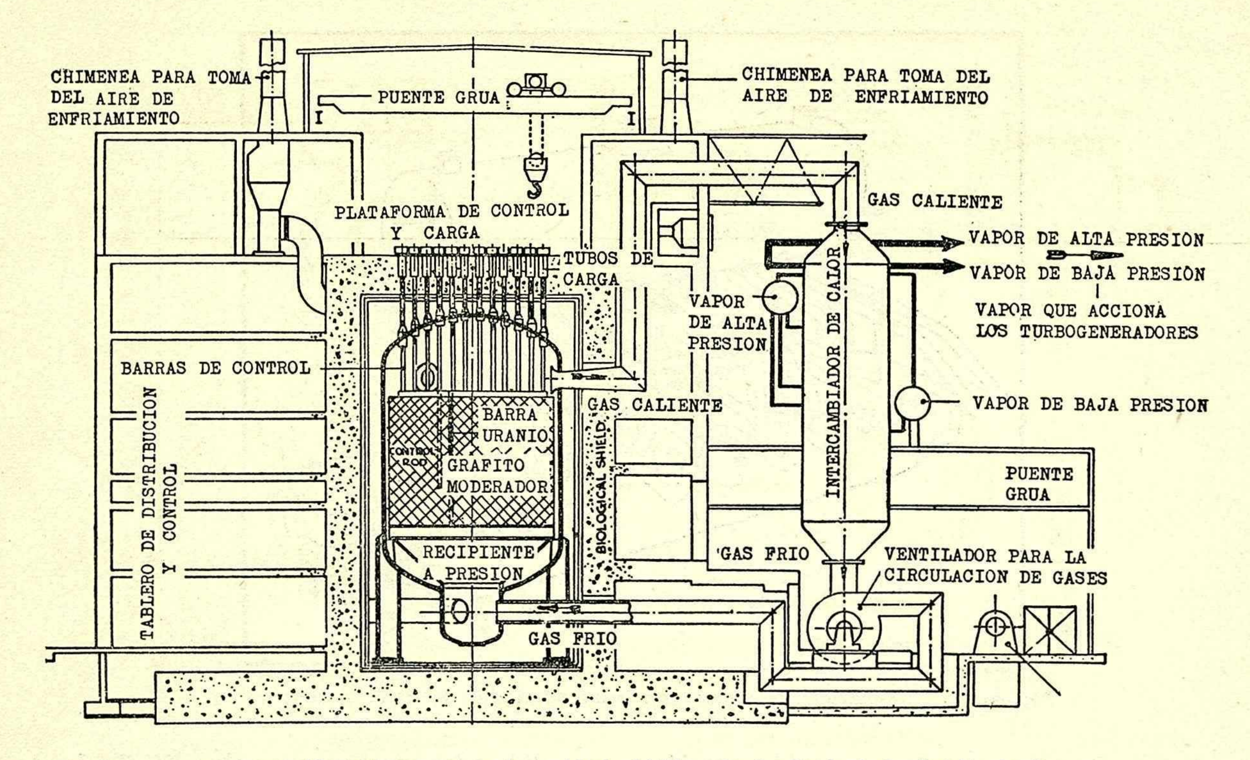


Figura 12. - Esquema de la unidad atómica de la Central de Calder Hall

ración; debido a que podría utilizarse como combustible nuclear al uranio ligeramente enriquecido con uranio-235; y además, porque las condiciones del funcionamiento de un reactor de este tipo no exige el empleo de materiales de construcción especiales.

Sobre este respecto conviene hacer notar que la construcción de la Central de Shippingport hizo necesario utilizar numerosos materiales nuevos, con el objeto de evitar en muchos casos la corrosión y de tener en cuenta las condiciones de resistencia de la estructura del reactor que debería operar a altas temperaturas.

En el esquema de la figura 12 aparece el reactor, dentro de un gran recipiente de acero; observándose además uno de los cuatro ciclos de refrigeración por gas carbónico, con su respectivo intercambiador que actúa a la vez como generador de vapor.

Uno de los factores que limitaron la capacidad de la Planta de Calder Hall fué el tamaño del recipiente a presión que debería contener al reactor. Dicho tamaño se encontraba limitado por el espesor máximo de la chapa de acero que se podía soldar en el lugar de instalación, el cual era solamente de 50 milímetros.

Se espera que con los progresos futuros de la soldadura se puedan soldar en el lugar chapas de 75 milímetros, lo cual permitirá construir reactores similares al de Calder Hall, de mayor tamaño y por consiguiente, de potencia más elevada ([4]).

Se eligió al gas carbónico como fluído refrigerante, por su bajo costo, porque tiene una capacidad de absorción de neutrones relativamente baja y porque es químicamente estable en las condiciones de temperatura y presión a que trabaja el reactor de Calder Hall.

En su disertación ante la asamblea de Ginebra, Sir Christopher Hinton se refirió también al plan decenal para la utilización de la energía atómica que ha preparado el Gobierno Británico y que entrará en vigencia en el año próximo.

El programa a desarrollar que estará totalmente terminado en 1966, comprende la construcción, en forma escalonada, de 14 centrales atómicas.

En 1960 y 1961 se habilitarán las dos primeras plantas previstas en el plan, las que tendrán reactores moderados con grafito.

En 1959 se iniciará la construcción de cuatro nuevas plantas con reactores igualmente moderados con grafito, que entrarán en fun-

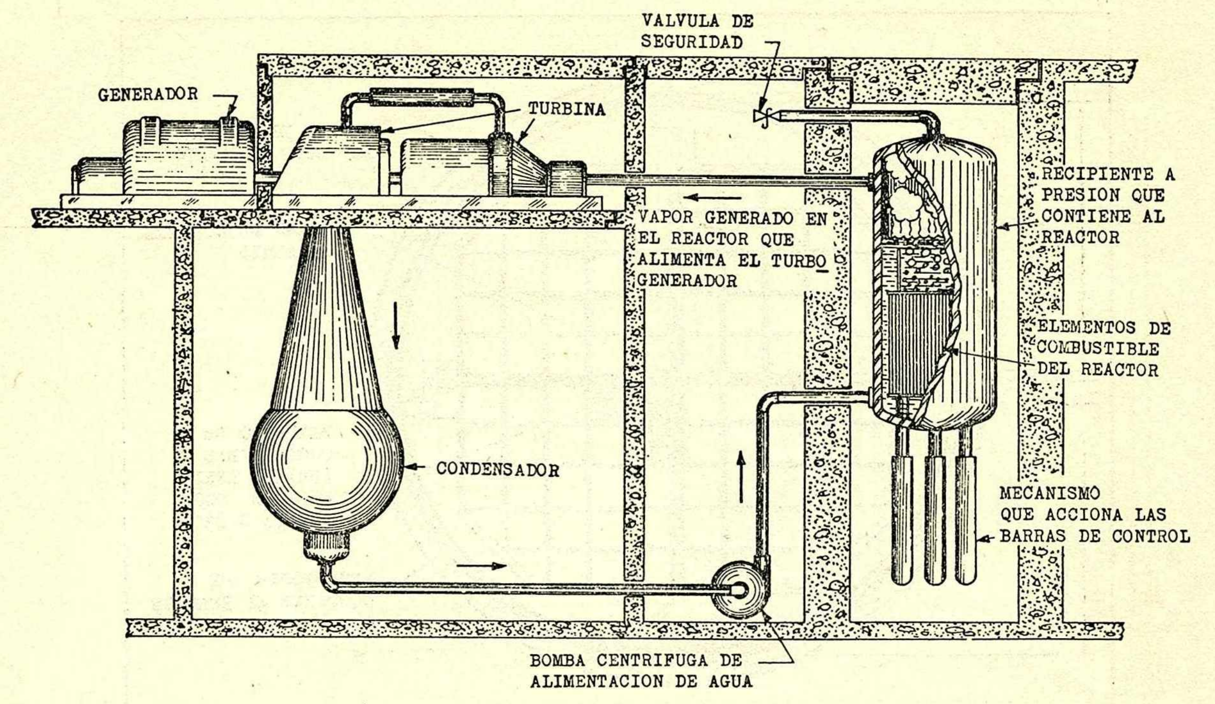


Figura 13. - Esquema de una planta núcleoeléctrica con reactor del tipo "hervidor de agua".

cionamiento en 1963 y totalizarán una potencia de 400,000 a 800,000 kilowatios.

En 1960 se comenzarán a construir cuatro nuevas centrales atómicas; y 18 meses más tarde se iniciará la construcción de otras cuatro más. Estas ocho plantas atómicas representarán en conjunto una potencia de un millón de kilowatios (4).

El plan británico, que exigirá una inversión de 600 millones de libras esterlinas, constituye la afirmación más elocuente del firme optimismo con que los técnicos y los hombres de ciencia del Reino Unido ven la utilización de la energía atómica con fines pacíficos.

La novedad más sensacional de la Conferencia de Ginebra. — Nos referimos antes, a la notable intervención que correspondió al Doctor Zinn, de la Delegación Estadounidense, en la mañana memorable del 9 de agosto en que le cupo el honor de presentar ante la Conferencia de Ginebra, el más reciente y notable de los aportes realizados por su país al progreso de la utilización de la energía atómica.

El Doctor Zinn es sin duda alguna el técnico que ha tenido una participación más inmediata en las investigaciones realizadas en los Estados Unidos con el fin de lograr la generación de la energía núcleoeléctrica; y su nombre ha quedado grabado para la posteridad en una leyenda escrita hace apenas cuatro años, cuando por primera vez en el Mundo se generó la electricidad utilizando el calor desprendido por la fisión atómica.

La planta atómica que era objeto de la comunicación sensacional había sido construída y puesta en marcha por el Laboratorio Nacional de Argonne, del cual es Director el propio Doctor Zinn

Se trata de una estación nucleoeléctrica de 15,000 kilowatios de potencia construída en la National Reactor Testing Station, cuya principal y revolucionaria característica es la eliminación del intercambiador de calor.

El agua, que actúa como moderador, se vaporiza en el propio reactor; y el vapor de agua producido acciona el turbogenerador. El esquema de la planta núcleoeléctrica se simplifica así notablemente, como lo indica la figura 13 (1).

El reactor nuclear actúa por lo tanto como un "hervidor de agua", es decir: como un generador de vapor.

El vapor generado en el reactor es conducido directamente al turbogenerador de elec-

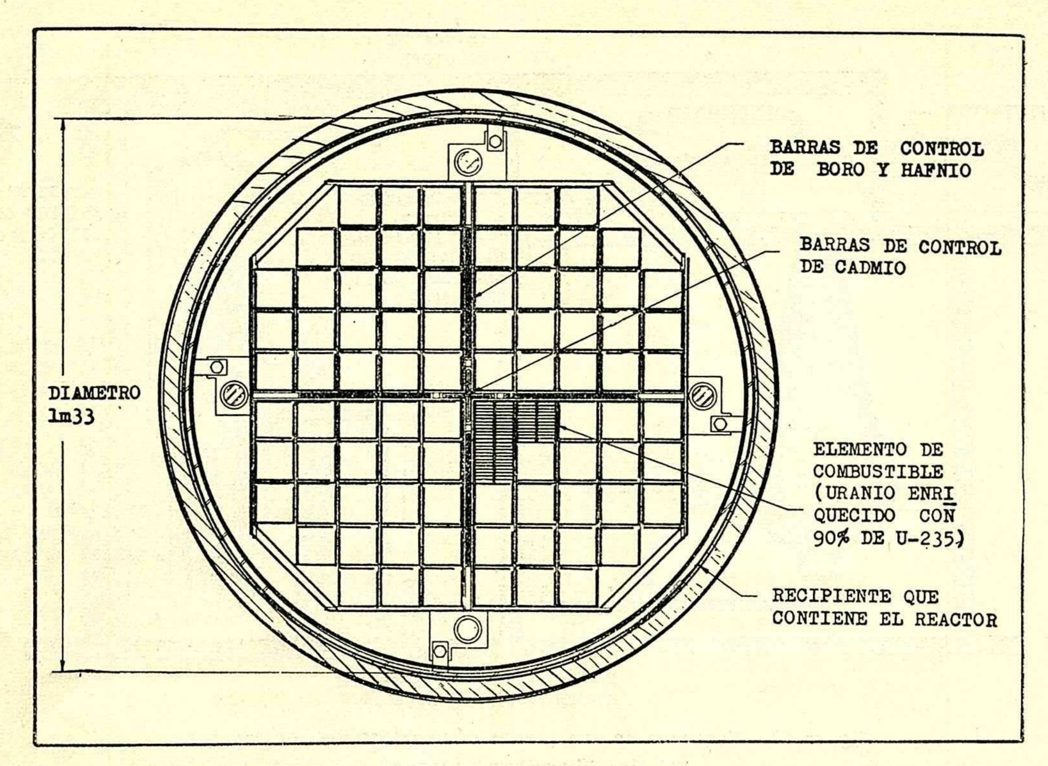


Figura 14. - Sección transversal del reactor "hervidor de agua" construído por el Laboratorio Nacional de Argonne (Illinois)

tricidad; mientras que el agua condensada proveniente de la condensación del vapor es bombada al depósito de alimentación de agua (que no aparece en el esquema de la figura). Del depósito, el agua es impulsada por una bomba al reactor.

Esta instalación constituye, sin duda alguna, la evidencia de un gran paso adelante en el progreso de la generación de la energía núcleoeléctrica, puesto que la simplificación del diseño no sólo se traduce en notables economías en el costo de instalación, sino que se consigue al mismo tiempo un importante aumento del rendimiento calorífico.

La figura 14 corresponde a la sección transversal del núcleo activo del reactor ([5]).

Se observan las celdas que contienen los elementos de combustible formados con uranio enriquecido con un 90 % de uranio-235.

Según direcciones ortogonales y diametralmente opuestas se encuentran distribuidas las barras de control revestidas de boro y hafnio; mientras que en la parte central están las barras de ajuste de la reactividad revestidas de cadmio. Estas últimas son accionadas por servomecanismos y permiten regular la reactividad del reactor dentro del orden del 0.001 %.

La figura 15 permite tener una idea de la disposición general del reactor ([5]).

El reactor está contenido en un recipiente cilíndrico de acero inoxidable, de 1.30 m. de diámetro y 4.70 m. de altura.

Los elementos de combustible se encuentran reunidos formando un entramado único celular.

El agua que entra al reactor se descarga en el hueco comprendido entre la pared del recipiente y el núcleo. De esta manera se refrigera la parte exterior del núcleo con lo cual se favorece la circulación natural del agua por el interior del mismo.

Una gran parte del volumen superior del recipiente que contiene el reactor se encuentra lleno de vapor, lo cual facilita la separación del vapor y el agua.

La fotografía que aparece en la figura 16 corresponde a uno de los elementos de combustible del reactor, que como indica la figura anterior se encuentran dispuestos verticalmente ([5]).

Los elementos de combustible están formados por una estructura de aluminio que

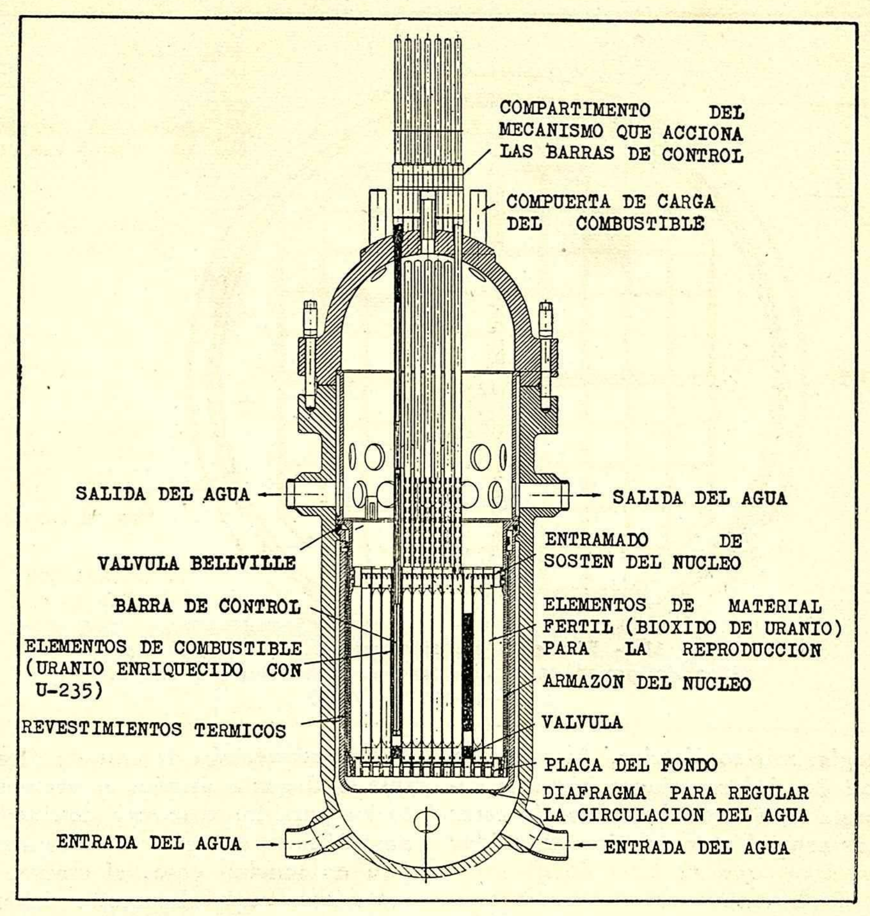


Figura 15. - Disposición general del reactor "hervidor de agua" construído por el Laboratorio Nacional de Argonne (Illinois)

sostiene interiormente placas paralelas formadas por una aleación de uranio y aluminio enchapada con aluminio.

La sustancia activa es el uranio de la aleación, siendo necesario el enchapado de aluminio para proteger a la aleación activa de los efectos de la corrosión por el agua que circula por el interior de los elementos de combustible, así como retener a los productos de la fisión, en algunos casos gaseosos, que podrían dar origen a peligrosas contaminaciones radioactivas o de otro orden.

Uno de los grandes descubrimientos realizados con el funcionamiento de esta instalación consiste en la evidencia experimental de la baja radioactividad del vapor que acciona el turbogenerador.

Esta radioactividad es principalmente debida al nitrógeno-16 que se forma por la acción del flujo de neutrones sobre el oxígeno del agua. El nitrógeno-16 tiene una vida media de 7.6 segundos y constituye también el principal agente de la radioactividad de los gases extraídos del condensador por los eyectores de vapor.

El Doctor Zinn hizo notar en la Conferencia de Ginebra el alto grado de seguridad que presenta este nuevo tipo de reactor, lo cual fué verificado experimentalmente de muy diversas maneras. Así por ejemplo, accionando rápidamente las barras de control fué posible aumentar el nivel de potencia de 485 a 5,400 kW en el intervalo de 6.5 segundos, sin que aparecieran indicios de ninguna operación inestable. En otro ensayo, la potencia del reactor varió de 1.2 kW a 4,300 kW en el plazo de tiempo de 3.3 segundos, sin producirse señales de la más ligera perturbación.

La planta experimental del Laboratorio Nacional de Argonne parece indicar la ruta hacia la solución definitiva de la generación

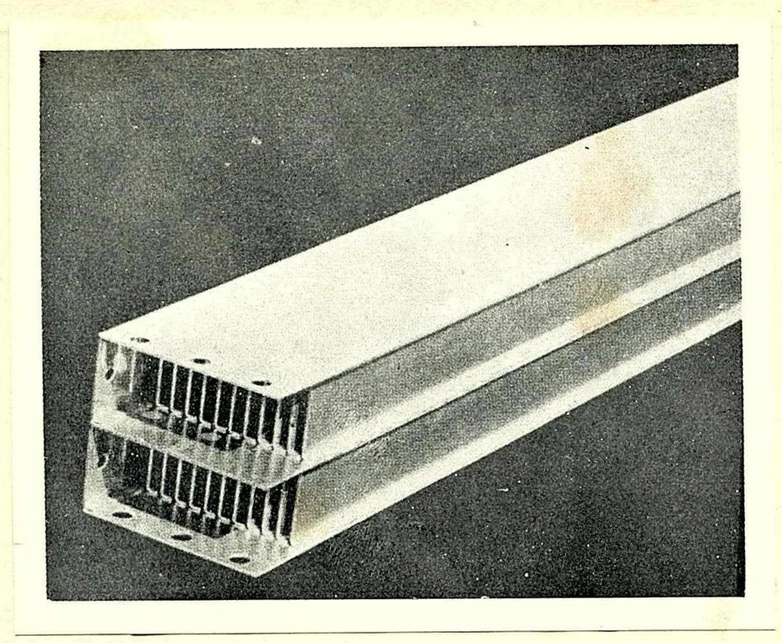


Figura 16. - Elemento de combustible del reactor "hervidor de agua" construído por el Laboratorio Nacional de Argonne (Illinois)

de la energía nucleoeléctrica, la que de acuerdo con las informaciones técnicas divulgadas hasta el día de hoy debería estar en el reactor reproductor del tipo "hervidor de agua".

Algunas opiniones vertidas en la Conferencia de Ginebra sobre las perspectivas inmediatas para el desarrollo de la Tecnología de la Energía Núcleoeléctrica. — Según se indicó antes, el reactor reproductor es el único tipo de reactor que de acuerdo con las técnicas actuales permitiría utilizar la totalidad de la energía potencial contenida en los materiales fértiles que actualmente se conocen.

Por esta razón; y por las ventajas económicas que derivan de la relación de conversión superior a uno que caracteriza a los reactores reproductores, la Tecnología de los reactores nucleares está principalmente dirigida hacia el desarrollo de este tipo de reactor.

A pesar de que aquella Tecnología se encuentra en una etapa de franco progreso, no hay seguridades de que alguno de los reactores ya construídos haya alcanzado el suficiente grado de perfeccionamiento requerido para la difusión de su empleo (6).

Aun cuando existe una firme confianza en que se obtendrán rápidos adelantos en la Tecnología de los reactores nucleares, se supone que se requerirán de cinco a diez años para que se llegue a diseños enteramente satisfactorios para los reactores destinados a la generación de energía, cuya construcción exigirá en muchos casos el empleo de nuevos materiales cuyo desarrollo deberá lograrse también dentro de aquel plazo de tiempo.

Los esquemas de plantas atómicas anteriormente citados ponen en evidencia que la práctica actual de generación de la energía termoeléctrica no experimentará cambios radicales con el empleo de los combustibles nucleares, salvo en lo que se refiera al uso de éstos para generar la energía térmica que será finalmente transformada en electricidad. Por tal motivo, las futuras plantas atómicas serán similares en muchos aspectos a las plantas térmicas y emplearán dentro de una gran extensión equipos similares a los actualmente usados por éstas (6).

Las presentes características de la Tecnología de la generación de la energía núcleoeléctrica conducen a suponer que se continuarán en el futuro las prácticas de las centrales térmicas de hoy, conservándose sin modificaciones sustanciales los sistemas de transmisión y distribución de energía que hoy se utilizan para llevar la energía hasta el consumidor.

Como la transmisión y distribución de la energía cuestan alrededor del doble de la ge-

neración, es lógico pensar que aun cuando se consigan grandes adelantos en la Técnica de los reactores nucleares, no será posible abatir radicalmente los costos actuales de la energía termoeléctrica (6).

Referencias Bibliográficas

(1) **J. A. Lane.** Economics of nuclear power. Trabajo Nº 8/P/476 de la Conferencia Atómica de Ginebra (1955).

(2) **D. I. Blokhintsev, N. A. Nikolayev.** — First atomic power station of the USSR and the prospects of atomic power development. Trabajo Nº 8/P/615 de la Conferencia Atómica de Ginebra (1955).

(3) **J. W. Simpson, R. B. Donworth, W. J. Lyman, I. H. Mandil, N. J. Palladino.** — Description of the pressurized water reactor (PWR) power plant at Shippingport. Trabajo Nº 8/P/815 de la Conferencia Atómica de Ginebra (1955).

(4) **Sir Chr. Hinton.** — The graphite-moderated, gas-cooled pile and its place in power production. Trabajo Nº 8/P/406 de la Conferencia Atómica de Ginebra (1955).

(5) **J. R. Dietrich, H. V. Lichtenberger, W. H. Zinn.** — Design and operating experience of a prototype boiling water power reactor. Trabajo Nº 8/P/851 de la Conferencia Atómica de Ginebra (1955).

(6) **W. L. Cisler.** — The role which nuclear energy can play as an energy source in the next 25 to 50 years. — Trabajo Nº 8/P/863 de la Conferencia Atómica de Ginebra.

TERCERA PARTE

ASPECTOS ECONOMICOS DE LA ENERGIA NUCLEOELECTRICA

CAPITULO VI

Costos de instalación de las plantas núcleoeléctricas

Algunos factores importantes que intervienen en el análisis de los costos de instalación de las plantas núcleoeléctricas. — El análisis económico de las plantas de generación de energía núcleoeléctrica es de naturaleza muy compleja debido a la amplia variedad de tipos de reactores utilizables y a las diversas soluciones que se han propuesto para conectar los reactores nucleares con las unidades de generación de energía eléctrica.

Por otra parte, aquel análisis se hace más difícil aun debido a que las informaciones de que actualmente se dispone sobre la experiencia recogida experimentalmente dentro del campo de la generación de la energía núcleoeléctrica son muy escasas, fragmentarias y correspondientes a la producción de cantidades exíguas de energía en instalaciones cuya importancia excede apenas a la de las plantas pilotos.

La intensa actividad que se desarrolla dentro del campo de la Ingeniería Nuclear, así como la habilitación en fecha relativamente próxima de las plantas núcleoeléctricas de Calder Hall (Cumberland) y de Shippingport (Pensylvania), permitirán disponer dentro de pocos años de una información más completa con respecto al comportamiento real de las plantas atómicas; sin embargo, dichos datos no serán todavía suficientes para poder llegar a valores que se aproximen a los que se obtendrán en un futuro más lejano con el funcionamiento de plantas más eficientes y cuyas diferentes unidades se hayan construído en serie, una vez seleccionados los tipos de reactores más convenientes y ajustados los respectivos procesos de fabricación.

Resulta así, que las cifras establecidas hasta el momento actual para los costos de instalación de las plantas núcleoeléctricas así como para los costos de la generación en ellas de la energía eléctrica, constituyen el resultado de cálculos basados en hipótesis que tratan de acercarse en lo posible a la realidad de un futuro relativamente cercano.

La disparidad de valores que suele observarse entre los valores deducidos para los costos de generación de la energía núcleoeléctrica, se deben en muchos casos a los datos que sirvieron de base para la formulación del problema, tales como potencia de las instalaciones, plazos y formas de amortizar los gastos de instalación, factores de carga previstos para el funcionamiento de las plantas atómicas, etc.

Costos de instalación de las plantas núcleoeléctricas. — Aun cuando en los Estados Unidos se han hecho en los últimos años muchas estimaciones sobre los costos de plantas núcleoeléctricas, no es posible atribuirles un determinado grado de exactitud.

Se admite que las estimaciones de costos mejor hechas en dicho país son las propuestas en el Plan de Reactores para la Demostración Industrial de la Generación de Energía. Dicho plan comprende la construcción por varios grupos industriales de los Estados Unidos de 5 grandes plantas atómicas que totalizarán una potencia de 700.000 kilowatios.

En el cuadro I se indican las características más fundamentales de las plantas atómicas cuya construcción ha encarado el referido plan.

Con excepción de la planta de la Consolidated Edison que será construída totalmente con fondos privados, las demás centrales atómicas que se mencionan en el cuadro I serán construídas con la ayuda del Gobierno que comportará la exoneración de los gravámenes de la Comisión de la Energía Atómica para los préstamos de combustibles nucleares y materiales fértiles durante un período de siete años, la utilización de los laboratorios de aquella Comisión para los trabajos de investigación y desarrollo técnico,

CUADRO I

Plantas atómicas comprendidas dentro del Plan de Reactores para la Demostración Industrial de la Generación de Energía (1)

Grupo industrial constructor	*Tipo de reactor a instalar*	*Potencia neta de la planta kW*	*Costo en millones de dólares*	*Fecha de terminación*
Yankee Atomic Electric ..	Agua a presión	100,000	24	1957
Commonwealth Edison (Nuclear Power Grup) ..	Hervidor de agua	180,000	45	1960
Consumers Public Power District	Sodio - grafito	75,000	24	1959
Detroit Edison	Reproductor rápido	100,000	45	1958
Consolidated Edison	Agua a presión	236,000	55	1959

así como el pago por la Comisión de las nuevas informaciones técnicas y económicas que se consigan [1].

De las plantas que se mencionan en el cuadro I, las tres de costo de instalación más bajo tienen costos comprendidos entre U$S 233 y U$S 250 por kilowatio de potencia neta instalada. Dos de dichas plantas (Yankee Atomic Electric y Consolidated Edison) tendrán reactores de agua a presión y la tercera (Commonwealth Edison) tendrá un reactor hervidor de agua.

Conviene hacer notar que los costos de las plantas de iguales características y potencia que se construyan en el futuro serán mucho más bajos que los que se deducen de las cifras que figuran en el cuadro I. En efecto, las plantas que allí se mencionan tendrán principalmente carácter experimental, serán las primeras que se construyan para cada tipo de diseño; y muchas de las unidades y partes que las formen se realizarán por primera vez.

Además debe señalarse que cada uno de los reactores se instalará como una única unidad en el sitio destinado a la central, incidiendo sobre su costo, los costos del terreno, de las instalaciones auxiliares y los elevados costos de construcción que exigirán en muchos casos estudios y ensayos experimentales realizados sobre el terreno. El costo de un nuevo reactor de idénticas características y ubicado en el mismo lugar podrá costar de un 10 a un 20% menos [2].

Cuando se logren diseños más simples y se consigan materiales más baratos, así como los beneficios de la construcción en serie, podrán obtenerse reducciones del 15 al 20% en la fabricación de los mismos tipos de reactores básicos.

Muchos ingenieros y hombres de ciencia que han estudiado este asunto han llegado a la conclusión de que no hay motivos que se opongan a que las centrales atómicas de tamaño apreciable se construyan a precios similares a los de las plantas de generación de energía eléctrica actualmente en uso; suponiéndose que para lograr esta meta se requerirán 5 a 10 años de progreso en la Ingeniería Nuclear.

En los Estados Unidos hay una considerable variación entre los costos de instalación de las plantas térmicas de generación de energía. Parte de esta variación es debida a diferencias de tamaño en las instalaciones y parte, a la eficiencia óptima de las plantas que depende del tipo y costo del combustible. Hay además diferencias en los costos de construcción, así como también en las prácticas de funcionamiento de las instalaciones. No obstante los factores que se acaban de enumerar, parecería que el costo actual de las centrales eléctricas con calderas alimentadas a carbón, con potencias de 400,000 a 600,000 kW y provistas de 2 a 4 unidades de generación sería del orden de U$S 130 a U$S 135 por kW, incluyendo el costo del terreno y servicios auxiliares [2].

La Comisión Federal de la Energía (Federal Power Commision) ha dado a conocer los costos que se enumeran en el cuadro II para las plantas de generación de energía eléctrica accionadas por motores diesel.

CUADRO II

Costo de instalación de plantas eléctricas accionadas por motores diesel en los Estados Unidos (2)

Potencia de la planta kW	*Costo del grupo electrógeno U$S por kW*	*Costo de las construcciones U$S por kW*	*Costo del terreno U$S por kW*	*Costo total U$S por kW*
100	180	40	3	223
500	145	30	2	177
1,000	135	25	2	162
5,000	120	20	1	141
10,000	118	19	1	138
15,000	117	17	1	135

Aun cuando el costo de instalación de este tipo de plantas es bajo, la vida de las instalaciones es relativamente reducida, estimándose en 10 a 15 años a lo más (2).

Las plantas eléctricas accionadas por motores diesel tienen, además de su bajo costo de instalación, las ventajas de una construcción rápida y de entrar en funcionamiento dentro de breves plazos de tiempo. Como se indica a continuación, dichas plantas tienen un elevado costo de funcionamiento que unido a su reducida vida, limitan la capacidad de las plantas eléctricas a algunos millares de kilowatios (4).

Las plantas eléctricas accionadas con motores diesel tienen costos de operación y de conservación muy altos frente a los de las centrales térmicas y el combustible utilizado es mucho más caro. Se ha calculado que la diferencia de costos entre el diesel-oil y el carbón, en zonas de los Estados Unidos con costos de carbón moderadamente altos, gravitaría sobre el costo del kilowatio-hora generado en forma similar a un aumento del costo de instalación del orden de U$S 140 por kilowatio de potencia instalada (2).

Las plantas eléctricas accionadas con motores diesel podrán ser sustituídas en el futuro por pequeñas plantas atómicas; pero para ello la Ingeniería Nuclear deberá resolver las serias dificultades que se ofrecen a la construcción de plantas núcleoeléctricas de reducido tamaño.

La realización de unidades económicas de 10,000 a 20,000 kW representa un difícil e importante problema cuya solución no se encontrará muy rápidamente (2).

Influencia del turbogenerador en el costo de las plantas atómicas. — El costo de la sección correspondiente al turbogenerador en las plantas atómicas es aproximadamente similar al de las plantas térmicas de igual potencia, aun cuando en las primeras, las condiciones del vapor podrán ofrecer diferencias apreciables con las del vapor en las plantas térmicas.

Como consecuencia de la inferior calidad del vapor en las plantas atómicas resultará un aumento para el costo del turbogenerador, que en los casos extremos no excederá de U$S 30 por kilowatio de potencia instalada (2).

En las investigaciones experimentales relacionadas con el perfeccionamiento de los reactores nucleares, se ha tratado de conseguir sistemas capaces de operar durante prolongados períodos de tiempo a las elevadas temperaturas que se requieren para una eficiente generación de energía.

Las soluciones más promisoras que se han encontrado comportan el uso del sodio fundido como flúido refrigerante, operando a temperaturas de 480°C a 600°C (900°F a 1,100°F) y presiones absolutas de 7 kg. por centímetro cuadrado (100 psia); así como también el empleo del agua a temperaturas de 270°C a 320°C (540°F a 630°F) y presiones absolutas de 140 kg. por centímetro cuadrado (2000 psia) (1).

Las temperaturas del vapor así obtenido pueden variar entre 204°C (400°F) y 538°C (1000°F).

Aun cuando este amplio rango de temperaturas tiene una importante influencia sobre la eficiencia térmica de la planta, las varia-

ciones que trae aparejado sobre el costo de instalación de las centrales atómicas no es tan grande. Así por ejemplo, los costos del turbogenerador en plantas con reactores refrigerados con agua variarían entre 115 y 125 dólares por kilowatios; mientras que utilizando reactores refrigerados con sodio fundido el costo de la unidad turbogeneradora variaría entre 97 y 100 dólares por kilowatio ([1]).

Por otra parte se ha estimado que el costo del turbogenerador en una gran planta térmica sería del orden de 80 dólares por kilowatio ([2]).

Las informaciones que anteceden ponen de manifiesto que las diferencias de costo de la energía generada que pueden presentarse entre varios tipos de plantas atómicas y térmicas, se deben principalmente a los costos de construcción y de funcionamiento de la sección calderas o del reactor, más bien que de la planta de turbogeneración ([1]).

Plazos para la amortización de las plantas núcleoeléctricas. — Dentro del análisis económico de la generación de la energía nucleoeléctrica es necesario tener en cuenta la influencia que tiene sobre los costos de instalación el recargo por concepto de amortización de las instalaciones.

Se admite por lo general que la vida útil de las plantas actuales de generación de energía termoeléctrica varía entre 25 y 30 años, de donde resulta un recargo de 1.5 al 2% sobre el costo de instalación, por concepto de depreciación ([2]).

No hay ninguna información positiva que permita afirmar que los generadores de vapor de las plantas atómicas tengan una vida útil similar a la de las calderas que se usan en las plantas térmicas; siendo por otra parte imposible determinar el alcance de aquella vida útil dentro de un plazo de tiempo relativamente corto.

Teniendo en cuenta las mayores exigencias a que deberán estar sometidos los intercambiadores de calor que actuarán como generadores de vapor en las plantas atómicas, se supone que en un futuro relativamente cercano, los recargos por concepto de depreciación de dichas instalaciones de generación de vapor serán del orden del 2%; admitiéndose que recargos del 4 ó del 5% podrían ser muy razonables para las primeras plantas atómicas que entren en funcionamiento ([2]).

Además de la vida útil, es necesario considerar también en el análisis económico los plazos de tiempo a partir de los cuales las instalaciones se tornarán anticuadas; es decir el momento en que sea necesario reemplazar el proceso o los equipos utilizados por ser ineficientes o de funcionamiento costoso en comparación con nuevos procesos o equipos.

Es interesante hacer notar que aun cuando se requieren mejoras muy sustanciales en los procesos o equipos utilizados en la industria de la generación de energía para justificar un reemplazo, la antigüedad de los mismos se refleja en otros aspectos de la propia industria. Así por ejemplo, como los equipos eléctricos modernos tienen generalmente un costo menor de operación, se les hace funcionar el mayor tiempo posible durante los primeros años que siguen a su instalación; tan pronto como se incorporan al sistema equipos más modernos, los equipos antiguos se destinan preferentemente para atender los picos de carga y cada vez menos para la carga básica ([2]).

La ubicación de las plantas atómicas y el costo del terreno. — Dentro del costo de instalación de las plantas núcleoeléctricas el costo del terreno tiene una influencia relativamente apreciable. Conviene hacer notar que también lo tiene en las plantas térmicas, muchas de las cuales tienen una ubicación cara impuesta por la necesidad de estar situadas en las proximidades de los centros de consumo de energía ó de fuentes abundantes de agua de refrigeración.

La ubicación de las plantas térmicas exige además un fácil y barato servicio de transporte para los combustibles. Para tener una idea de la importancia que tiene el transporte de los combustibles en las plantas térmicas basta considerar que el funcionamiento de la planta de Clifty Creek en Madison (Indiana), con una potencia de 1,200,000 kilowatios, requiere un consumo de 12,000 toneladas diarias de carbón ([2]).

Aun cuando el funcionamiento de las plantas núcleoeléctricas no exigirá abastecimientos permanentes de tal magnitud, es necesario tener presente que su construcción obligará al transporte de grandes cantidades de material y que además, el transporte a las plantas de regeneración, de los combustibles irradiados agotados altamente radioactivos, obligará a utilizar envases protectores contra la radioactividad muy pesados. Es decir que las plantas núcleoeléctricas deberán estar

también servidas por buenos sistemas de transporte.

En la ubicación de las plantas atómicas es necesario tener en cuenta además el riesgo de accidente con expulsión a la atmósfera de partículas o gases radioactivos. Si no fuera por las posibilidades de un accidente de esta naturaleza, las centrales atómicas serían las plantas ideales para cualquier ubicación dentro del radio urbano (2).

Contemplando riesgos de esta clase el Comité Consultivo de Seguridad de Reactores, de la Comisión de la Energía Atómica de los Estados Unidos ha considerado conveniente que las plantas atómicas estén ubicadas dentro de grandes espacios de terreno que las aislen dentro de cierto grado de las poblaciones inmediatas. A tal efecto se exige que los predios en donde se instalarán plantas atómicas tengan por lo menos una superficie de 0.4 de hectárea (un acre) por kilowatio de potencia instalada (2).

Esta disposición obliga a disponer de grandes extensiones de terreno para la ubicación de las plantas núcleoeléctricas, lo que desde el punto de vista económico significa un considerable recargo para el costo de instalación si las plantas se ubican en las proximidades de las aglomeraciones urbanas donde se encuentran los centros de consumo de energía y donde el costo del terreno es elevado. Si por el contrario, se ubican las plantas en zonas rurales y de costo de terreno más bajo, el costo de la energía se verá encarecido por los costos adicionales de la transmisión y por el aumento de las pérdidas en la misma.

Con el fin de salvar estas dificultades y contemplar al mismo tiempo los riesgos de accidente, se ha previsto en muchas plantas atómicas de reciente diseño, que los reactores nucleares y todos los circuitos por donde circulen flúidos radioactivos, se ubiquen dentro de recintos herméticos y suficientemente resistentes como para retener la masa gaseosa que pudiera expulsarse en caso de accidente.

El costo de esta clase de construcciones podría ser del orden de 10 a 20 dólares por kilowatio de potencia instalada; lo cual representaría un aumento de 4 a 8% del costo de instalación de las plantas. Este recargo sería siempre muy inferior al que resultaría del mayor costo del terreno, del transporte de la energía o de ambos (2).

CAPITULO VII

Costo de los combustibles nucleares

La utilización del material de carga en los reactores nucleares para generación de energía. — Toda la técnica y la economía de la industria de la generación de la energía núcleoeléctrica está dirigida hacia la reducción de los costos de instalación de las plantas atómicas que actualmente superan en mucho a los costos de las centrales térmicas; así como también, a la reducción de los costos correspondientes al consumo de combustibles atómicos, cuya influencia en el balance económico de la energía núcleoeléctrica deberá ser muy baja para que sea posible la competencia entre las plantas atómicas y las centrales térmicas.

El uranio enriquecido con U-235 tiene un equivalente energético del orden de 17,000 millones de calorías por kilogramo y su precio actual se supone que se encuentre comprendido entre 15 y 30 dólares por gramo (1).

Si se hiciera un simple examen comparativo entre el costo de las calorías contenidas en el uranio-235 y en el carbón, se llegaría a cifras del mismo orden de magnitud. Sin embargo, en la práctica no ocurre así, debido a que el rendimiento de la "combustión" del uranio-235 es muy inferior a la del carbón y a que por ello es necesario retirar de los reactores nucleares el combustible irradiado cuando sólo se ha fisionado una fracción del uranio-235.

Resulta así que el uranio-235 no es un combustible más barato que el carbón y por ello ha sido necesario descartar en la tecnología de la energía núcleoeléctrica el empleo de reactores no-regeneradores en cuyo funcionamiento sólo se tiene en cuenta el consumo del uranio-235.

Por esta razón en todos los sistemas ideados para la generación de energía se ha contemplado solamente el empleo de reactores regeneradores y reproductores.

En los reactores regeneradores la carga está constituída por una mezcla de combustible nuclear y de material fértil; como podría ser por ejemplo el uranio natural ligeramente enriquecido con uranio-235. El funcionamiento del reactor puede regularse de modo que de los neutrones liberados por cada átomo de uranio-235 que experimente la fisión, se uti-

lice un neutrón para mantener la reacción en cadena provocando una nueva fisión; y al mismo tiempo, se absorba un neutrón por un núcleo de uranio-238 (principal constituyente del uranio natural) para formar uranio-239 que se transformará finalmente en un núcleo de plutonio-239 fisionable.

En estas condiciones, por cada átomo de combustible nuclear (U-235) que desaparece, se formaría un nuevo átomo de combustible nuclear (Pu-239).

La máxima relación de conversión obtenible en los reactores regeneradores es del orden de 1.0. Pertenecen a esta categoría de reactores los siguientes tipos anteriormente descriptos: reactor de agua a presión, reactor hervidor de agua y el reactor sodio-grafito.

En los reactores reproductores la relación de conversión es mayor que 1.0; es decir que el número de átomos de combustibles nucleares que se generan es superior al número de átomos fisionables que desaparecen.

Para conseguir que la relación de conversión sea mayor que uno, es necesario regular la distribución del combustible y del material fértil en el reactor, de tal modo que se logre por una parte la máxima eficiencia en la fisión y en la regeneración; así como por otra, reducir al mínimo la absorción y las pérdidas de neutrones. Con tal fin, se ha desarrollado dentro de la Ingeniería Nuclear la obtención de materiales estructurales, como el zirconio, que se caracterizan por su bajo coeficiente de absorción de neutrones; difundiéndose también cada vez más el empleo del agua pesada como moderador, por igual motivo.

La relación de conversión del reactor reproductor homogéneo a base de torio es del orden de 1.2; y la relación de conversión del reactor regenerador rápido refrigerado con sodio es alrededor de 1.6 [1].

El reactor reproductor tiene la considerable ventaja de que permitiría transformar casi completamente al uranio natural en productos de fisión y calor, lo que haría posible aprovechar al máximun los recursos naturales de uranio.

En los reactores reproductores rápidos el combustible nuclear y el material fértil pueden estar mezclados formando un núcleo único, o el combustible puede estar concentrado en el centro del reactor y envuelto por una cubierta de material fértil [1]. La última solución parece ser la más aceptada actualmente.

Un reactor típico utiliza un núcleo cuyo centro está formado por una mezcla de 10% de plutonio y 90% de uranio natural. El centro se encuentra envuelto por una cubierta formada por 1% de plutonio y 99% de uranio natural.

El funcionamiento del reactor reproductor rápido está fundamentalmente basado en utilizar los neutrones con la energía más vecina posible a la energía original con que fueron emitidos en la fisión. Esto significa eliminar en lo posible del núcleo reaccionante todos los materiales extraños al proceso de la reacción, tales como diluentes, moderadores, refrigerantes y materiales estructurales.

Para utilizar eficientemente la masa crítica de material fisionable, es necesario extraer rápidamente una gran cantidad de calor del núcleo. Es ésta, una de las grandes dificultades que ha encontrado la tecnología de los reactores reproductores rápidos [2].

El reactor reproductor lento a base de torio, utiliza al torio natural como material fértil y recicla uranio-233 como combustible. Aunque este tipo de reactor tiene una relación de conversión inferior a la de los reactores reproductores rápidos, ofrece la posibilidad de realizar la conversión sin algunas de las dificultades que presentan los reactores reproductores rápidos.

En los reactores reproductores lentos a base de torio, el combustible nuclear y el material fértil se distribuyen en forma análoga a la de los reactores reproductores rápidos.

El núcleo de un reactor típico a base de torio está formado por un recipiente central que contiene una solución en agua pesada de uranio-233 bajo la forma de sulfato de uranilo, con 3 gramos de uranio-233 por litro. Dicho recipiente se encuentra colocado dentro de otro que contiene una suspensión de bióxido de torio en agua pesada, con una concentración de 1000 gramos de $Th0_2$ por litro.

La suspensión de material fértil ($Th0_2$) viene por consiguiente a envolver la solución que contiene el combustible nuclear (U-233).

Como resultado del funcionamiento del reactor, el torio-233 que constituye el material fértil, se transforma en uranio-233, el que se utilizará posteriormente como combustible.

Para la puesta en marcha del reactor, en el caso de no disponerse de uranio-233, se coloca en el recipiente interior una solución de sulfato de uranilo a base de uranio enriquecido con U-235.

El empleo del torio en los reactores nucleares se está desarrollando dentro del campo

de los reactores reproductores homogéneos y en el de los reactores del tipo sodio-grafito. La utilización del torio en estos tipos de reactores parece ofrecer ventajas tanto del punto de vista del costo de instalación, como del costo general del sistema del reactor.

El uso del torio presenta sus propios problemas, aunque no necesariamente más difíciles que los que ofrece el uso del uranio, aunque sí diferentes. Así por ejemplo, como se indicó antes, el empleo del torio como material fértil, obliga a la puesta en marcha del reactor con uranio-235.

Factores que influyen sobre el costo del combustible en los reactores nucleares. — El funcionamiento de los reactores nucleares que consumen uranio obliga al empleo de un metal de gran pureza, que en el caso de tener una proporción de uranio-235 superior a la del uranio natural debe ser sometido a largos y costosos procesos de enriquecimiento basados en la separación de los isótopos del uranio, de los cuales el método de difusión gaseosa parecería ser el más utilizado.

Para mantener una elevada relación de conversión en los reactores es necesario retirar el combustible irradiado antes de que se haya consumido la totalidad del combustible nuclear. Por tal motivo, el combustible irradiado debe ser sometido posteriormente a un nuevo tratamiento para recuperar el uranio agotado y el plutonio formado durante la irradiación.

El costo del combustible utilizado en los reactores nucleares depende esencialmente del costo del uranio natural o del uranio enriquecido con U-235 que se emplee como material de carga, al cual deben agregarse además el costo de fabricación de los elementos de combustible y el acondicionamiento de éstos para su colocación en el reactor nuclear.

Influye además sobre el costo del combustible el recargo derivado del stock de elementos de combustible que es necesario tener en servicio, así como el tiempo de irradiación del combustible en el reactor, los tratamientos de recuperación del uranio agotado y del plutonio-239 formado, que son a su vez reutilizables.

El costo del uranio natural corresponde a un conjunto de operaciones y procesos de importancia y características muy diferentes, tales como la exploración, minería y concentración de los minerales de uranio, a las que siguen la purificación del concentrado uranífero y su reducción a metal con la pureza requerida para su uso como material de carga del reactor nuclear o de la planta de enriquecimiento isotópico.

Es indudable que el costo del uranio natural depende en gran parte de la riqueza de sus minerales, de donde pueden derivar diferencias apreciables de costos. A los efectos del análisis económico de la generación de la energía nucleoeléctrica, son frecuentes las estimaciones en que se ha adoptado el costo de 40 dólares por kg. de uranio.

Los costos relativos al enriquecimiento del uranio con uranio-235 son más coincidentes porque se admite en la mayoría de los casos que dicho enriquecimiento se realice luego de transformar el uranio en hexafluoruro (UF_6) gaseoso, en el cual se efectúa luego la concentración isotópica por difusión gaseosa a través de tabiques porosos.

El empleo del agua pesada en los reactores nucleares permite reducir o eliminar el enriquecimiento del uranio, reduciéndose por tal motivo notablemente el costo del combustible; pero a su vez, el elevado costo del agua pesada, así como el importante stock de ella, influyen sobre el costo de funcionamiento de los reactores.

Desde el punto de vista del enriquecimiento del material de carga, los reactores pueden clasificarse en las cuatro clases que se mencionan a continuación [2].

a) Reactores a base de uranio natural, como los grandes reactores del tipo agua-grafito o los reactores moderados con agua pesada.

b) Reactores que utilizan uranio ligeramente enriquecido, donde la proporción de uranio-235 es del 1 al 2% o algo más, como ocurre en la mayor parte de los reactores proyectados en los Estados Unidos.

c) Reactores compactos cuyo material de carga está formado por una alta proporción de uranio-235.

d) Reactores que utilizan como material de carga uranio natural o torio junto con plutonio o torio-233 obtenidos en reactores nucleares y comprendiendo cualquier enriquecimiento necesario.

Las diferentes clases de reactores que acaban de mencionarse ponen de manifiesto que el grado de enriquecimiento del uranio utilizado como material de carga puede variar desde el uranio natural con 0.71% de uranio-235 hasta el uranio con una riqueza en uranio-235 superior al 90%. Es indudable por lo tanto, que el costo del enriquecimiento varía en los reactores nucleares con la composición del material de carga.

Otro costo que depende del tipo de reactor es el de fabricación de los elementos de combustible, cuyo diseño puede ser de características muy diversas. Dicho costo podría variar entre el valor nulo o casi nulo que correspondería a los reactores homogéneos en que el combustible nuclear se encuentra al estado de solución, hasta los reactores heterogéneos en que el combustible nuclear se distribuye dentro de estructuras metálicas de forma compleja.

También influye en la economía del funcionamiento de los reactores nucleares el procesamiento del combustible irradiado con el fin de recuperar el uranio y los materiales fisionables formados, tales como el plutonio y el torio-233. Como estos dos últimos elementos son emisores de rayos α, su manipulación ofrece serios peligros, obligando a diseños especiales en parte de las instalaciones de procesamiento.

En el análisis económico del funcionamiento de los reactores nucleares es necesario tener en cuenta además el recargo que resulta del stock de elementos de combustible, que comprende no sólo el material colocado en el reactor sino también el material irradiado que se conserve en reposo "enfriándose", es decir, estacionado hasta que haya disminuído su radioactividad lo suficiente como para permitir su transporte sin peligro a la planta de recuperación del uranio y de los combustibles nucleares.

Dentro de dicho stock es necesario tener en cuenta igualmente el material irradiado que se encuentre sometido al procesamiento de recuperación.

El costo de los diversos procesos que comporta el tratamiento de los combustibles irradiados constituye un recargo adicional importante sobre el costo total de los combustibles nucleares, el que por otra parte se encuentra ampliamente compensado por el costo de los combustibles nucleares formados durante la irradiación así como por el costo de los materiales fértiles recuperados.

Teniendo en cuenta por una parte, las cantidades relativamente reducidas de material irradiado a procesar, así como lo complejo y delicado de las operaciones que comporta dicho tratamiento, parecería por el momento más indicado separar las correspondientes instalaciones de las plantas núcleoeléctricas y centralizarlas en determinados sitios donde se elaboraría el material irradiado proveniente de muy distintos orígenes.

Según estimaciones realizadas por Davis ([2]), el funcionamiento de una planta núcleoeléctrica de 100,000 kilowatios de potencia que operara con una eficiencia térmica del 30% y un factor de carga del 80%, requeriría una carga diaria de 57 kg. de uranio si el material fuera irradiado a razón de 5,000 megawatios por día y por tonelada métrica, lo que parecería razonable suponer. Dicha carga se reduciría a 27 kg. diarios, si la irradiación fuera de 10,000 megawatios por día y por tonelada métrica (1 tonelada métrica = 910 kg.).

En vista de lo reducido de los valores que corresponderían a las cargas, es indudable que sería muy reducida la capacidad de las instalaciones de procesamiento del material irradiado en una planta atómica de 100,000 kilowatios, las que sólo podrían compararse a una pequeña planta piloto ([2]).

La centralización del procesamiento de los combustibles irradiados ofrece dificultades debido a la gran variedad de tipos de elementos de combustible; diferentes en cuanto a forma, tamaño, naturaleza química del combustible nuclear y grado de enriquecimiento, materiales estructurales utilizados para contener el combustible, etc.

Dicha centralización comportará también el transporte de los elementos de combustible irradiados hasta las plantas de tratamiento. Dicho transporte será caro por los pesados envases que deberán utilizarse debido a la alta radioactividad de aquel material; a pesar de ello, el costo del tratamiento centralizado sería más bajo que si se efectuara en pequeñas instalaciones anexas a las plantas atómicas de moderada potencia.

Costo de los elementos de combustible en los reactores regeneradores. — Lane ha hecho un estudio comparativo de la variación de los costos unitarios netos de los elementos de combustible para reactores regeneradores con una relación de conversión igual a uno, suponiendo que las cifras correspondientes al valor del uranio-235 y del plutonio-239 fueran iguales.

Se ha supuesto también en dicho estudio que el costo del uranio fuera de 40 dólares el kg., que la planta funcionara con un factor de carga del 80% y que el material de carga del reactor se encontrara sometido a una irradiación de 10,000 megawatios por día y por tonelada métrica.

Los valores correspondientes a dichos costos unitarios se han referido a la cantidad de

combustible consumida para generar un kilowatio-hora de energía eléctrica.

En el cuadro III figuran los resultados correspondientes a la hipótesis de que los costos del uranio-235 y del plutonio-239 sean iguales a 15 dólares por gramo.

CUADRO III

Costos unitarios netos de los elementos de combustible nuclear para reactores regeneradores

(En milésimos de dólar por kilowatio-hora de electricidad generada)

Suponiendo para U-235 y para el P-239 valores iguales a 15 dólares por gramo

Factores que influyen sobre el costo de los elementos de combustible nuclear	*Contenido de U-235 en el uranio utilizado como material de carga*		
	0.71 % uranio natural	*1.0 %*	*2.0 %*
Uranio natural utilizado	0.61	0.96	2.16
Enriquecimiento del uranio natural con U-235 en la planta de separación de isótopos	0.00	0.18	1.06
Conversión del hexafluoruro de uranio enriquecido en uranio metálico	0.00	0.07	0.07
Fabricación de los elementos de combustible	0.13	0.13	0.13
Acondicionamiento de los elementos de combustible para su colocación en el reactor	0.10	0.10	0.10
Procesamiento químico del combustible agotado	0.20	0.20	0.20
Suma de costos parciales	1.04	1.64	3.72
Recargo por concepto de stock de elementos de combustible requerido por el funcionamiento del reactor	0.13	0.21	0.53
Costo total	1.17	1.85	4.25
A deducir por materiales reutilizables:			
Plutonio-239 formado	— 0.95	— 1.23	— 1.86
Uranio recuperado	0.00	0.00	— 1.10
Costo neto del combustible	0.22	0.62	1.29

Los valores calculados para el costo neto del combustible nuclear en el cuadro IV ponen en evidencia que el empleo del combustible en los reactores regeneradores podría significar una ganancia si el valor del plutonio se mantuviera suficientemente alto.

Costo del combustible en los reactores reproductores. — Como por definición los reactores reproductores producen más combustible nuclear del que consumen, en estos reactores no sólo es nulo el costo debido al combustible, sino que su funcionamiento representa una ganancia por concepto de combustible nuclear generado ([1]).

Sobre este respecto conviene tener presente que para que efectivamente el costo del combustible sea nulo es necesario que se cumplan las dos condiciones siguientes:

a) que los elementos de combustible hayan sido sometidos a un importante nivel y tiempo de irradiación en el reactor nuclear; y

b) que el plutonio generado durante la irradiación se separe y utilice posteriormente como combustible en otros reactores, con lo cual se conseguirá la ganancia necesaria para compensar el costo de los elementos de combustible del reactor regenerador ([3]).

CUADRO IV

Costos unitarios netos de los elementos de combustible nuclear para reactores regeneradores

(En milésimos de dólar por kWh de electricidad generada)

Suponiendo para el U-235 y para el Pu-239 valores iguales a 30 dólares por gramo

Factores que influyen sobre el costo de los elementos de combustible nuclear	*Contenido de U-235 en el uranio utilizado como material de carga*		
	0.71 % uranio natural	*1.0 %*	*2.0 %*
Uranio natural utilizado	0.61	1.08	2.68
Enriquecimiento del uranio natural con U-235 en la planta de separación de isótopos	0.00	0.39	2.45
Conversión del hexafluoruro de uranio enriquecido en uranio metálico	0.00	0.07	0.07
Fabricación de los elementos de combustible	0.13	0.13	0.13
Acondicionamiento de los elementos de combustible para su colocación en el reactor	0.10	0.10	0.10
Procesamiento químico del combustible agotado	0.20	0.20	0.20
Suma de costos parciales	1.04	1.97	5.63
Recargo por concepto de stock de elementos de combustible requerido por el funcionamiento del reactor	0.13	0.26	0.81
Costo total	1.17	2.23	6.44
A deducir por materiales reutilizables:			
Plutonio-239 formado	— 1.87	— 2.46	— 3.70
Uranio recuperado	0.00	0.00	— 1.39
Costo neto del combustible	— 0.70	— 0.23	1.35

CAPITULO VIII

Comparación económica entre las plantas núcleoeléctricas y las instalaciones actualmente utilizadas para la generación de energía eléctrica

Las centrales atómicas y las plantas termoeléctricas. — La comparación económica entre las plantas atómicas y las plantas térmicas presenta dificultades debido a los diferentes factores que influyen sobre el costo del kilowatio-hora de electricidad generada, entre los cuales cabe mencionar en primer término el costo de instalación, el costo del combustible, el factor de carga, etc.

En el caso de las plantas térmicas el costo de instalación y el costo del combustible varían principalmente con la potencia y la ubicación de la planta; mientras que para las centrales atómicas, dichos costos —y en particular los costos de instalación— no sólo son por el momento bastante imprecisos, sino que varían también con la potencia y el tipo de reactor utilizado.

En la figura 1 se han representado gráficamente las condiciones de competencia entre las plantas núcleoeléctricas y termoeléctricas en Gran Bretaña, de acuerdo con el análisis económico realizado por Kay (3).

En dicha figura se observa la gran influencia que tiene el factor de carga sobre el costo de la electricidad generada en las plantas atómicas, cuya competencia frente a las plantas

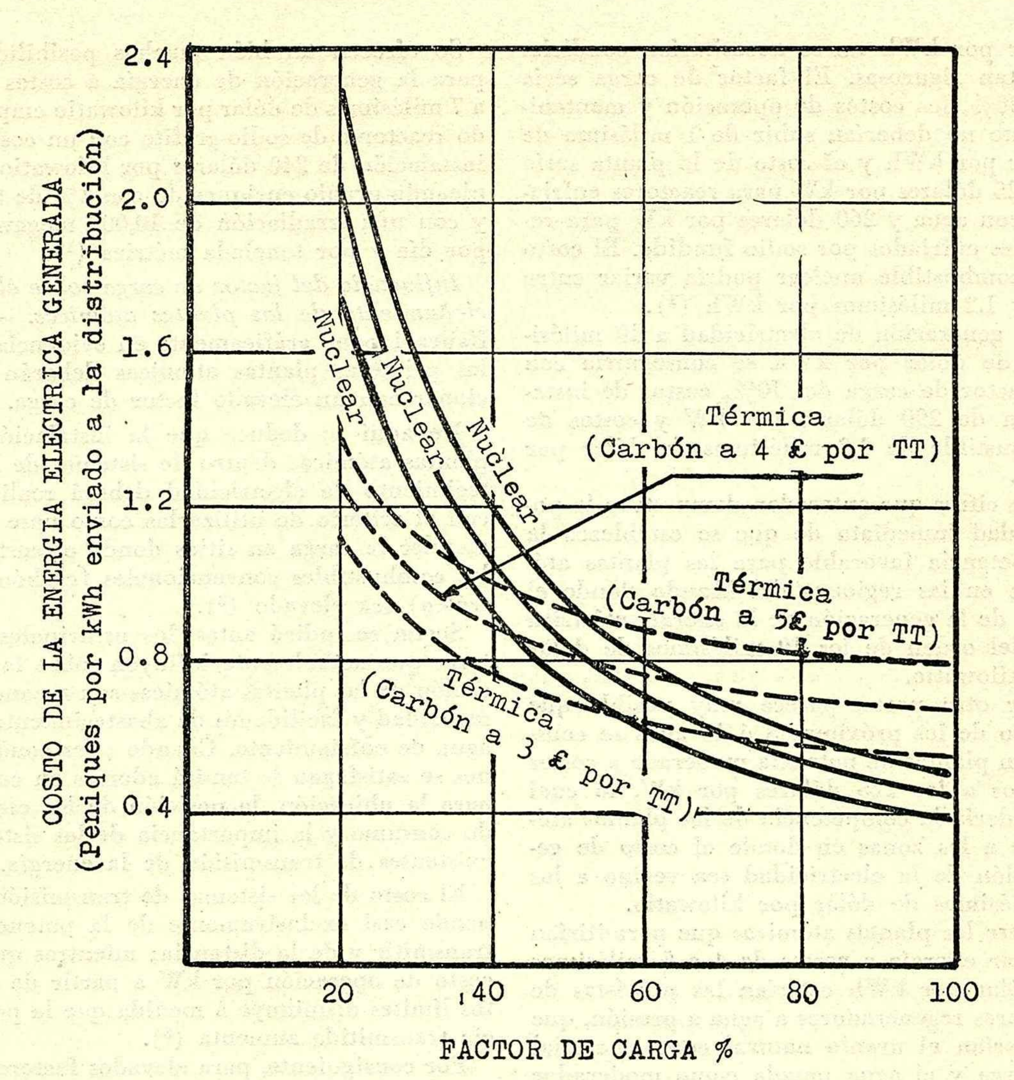


Figura 1. - Comparación entre los costos de la electricidad generada en plantas atómicas y centrales térmicas

térmicas exige en las primeras elevados valores para el factor de carga.

Las tres curvas correspondientes a las centrales núcleoeléctricas se refieren a plantas provistas de reactores moderados con grafito y refrigerados con gas, del tipo instalado en la Central de Calder Hall. Dichas curvas corresponden a los diferentes costos de instalación de tres tipos de centrales de las potencias más factibles a instalarse en Gran Bretaña dentro de los próximos años.

Con el fin de obviar muchas de las dificultades e imprecisiones que se presentan por el momento en el análisis económico de la generación de la energía núcleoeléctrica, Lane ha determinado las condiciones que se requerirían para generar energía eléctrica en las plantas atómicas a costos predeterminados (1).

Para generar electricidad a razón de 4 milésimos de dólar por kilowatio-hora se requerirían condiciones muy favorables de operación, tales como un factor de carga del 90% y costos de operación y funcionamiento del orden de 0.5 milésimos de dólar por kWh, además los costos de instalación no deberían exceder de 3,4 milésimos de dólar por kWh que correspondería a plantas con un costo de 180 dólares por kW de potencia instalada que podrían estar provistas con reactores regeneradores donde el costo del combustible nuclear fuera de 0.10 milésimos de dólar por kWh de electricidad generada (1).

Para generar electricidad a 7 milésimos de

dólar por kWh no se necesitarían condiciones tan rigurosas. El factor de carga sería del 80%, los costos de operación y mantenimiento no deberían subir de 1 milésimo de dólar por kWh y el costo de la planta sería de 225 dólares por kW para reactores enfriados con agua y 260 dólares por kW para reactores enfriados por sodio fundido. El costo del combustible nuclear podría variar entre 0.5 y 1.2 milésimos por kWh ([1]).

La generación de electricidad a 10 milésimos de dólar por kWh se conseguiría con un factor de carga del 70%, costos de instalación de 290 dólares por kW y costos de combustible de 1.7 milésimos de dólar por kWh.

Las cifras que anteceden demuestran la posibilidad inmediata de que se establezca la competencia favorable para las plantas atómicas en las regiones del Mundo donde el costo de la generación de la energía eléctrica sea del orden de los 10 milésimos de dólar por kilowatio.

Por otra parte, parece muy posible que dentro de los próximos 5 ó 10 años se construyan plantas de potencia moderada a costos vecinos a los 225 dólares por kW, lo cual extendería la competencia de las plantas atómicas a las zonas en donde el costo de generación de la electricidad sea vecino a los 7 milésimos de dólar por kilowatio.

Entre las plantas atómicas que permitirían generar energía a costos de 4 a 5 milésimos de dólar por kWh estarían las provistas de reactores regeneradores a agua a presión, que utilizarían el uranio natural como material de carga y el agua pesada como moderador y enfriador. Es muy posible que una planta de este tipo no cueste más de 200 dólares por kilowatio instalado, sin tener en cuenta el costo del agua pesada.

Dichas plantas deberían de operar con un factor de carga del 90% y los elementos de combustibles deberían estar sometidos a una irradiación de 5,000 a 6,000 megawatios por día y por tonelada métrica ([1]).

También podrían conseguirse costos vecinos a 5 milésimos de dólar por kilowatio empleando agua común en lugar de agua pesada, utilizando uranio enriquecido con 1% de U-235 y con una irradiación de 10,000 megawatios por día y por tonelada métrica.

Igualmente parecería posible generar energía a costos de 4 a 5 milésimos de dólar por kilowatio utilizando reactores reproductores rápidos, con un costo de instalación de 270 dólares por kilowatio y un factor de carga de 90%.

Se ofrecen también muchas posibilidades para la generación de energía a costos de 6 a 7 milésimos de dólar por kilowatio empleando reactores de sodio-grafito con un costo de instalación de 240 dólares por kilowatio, empleando uranio enriquecido con 2% de U-235 y con una irradiación de 10,000 megawatios por día y por tonelada métrica ([1]).

Influencia del factor de carga sobre el funcionamiento de las plantas atómicas. — La figura 1 pone gráficamente en evidencia que las primeras plantas atómicas deberán funcionar con un elevado factor de carga.

De aquí se deduce que la instalación de plantas atómicas dentro de sistemas de abastecimiento de electricidad deberá realizarse con el criterio de utilizarlas como base para atender la carga en sitios donde el costo de los combustibles convencionales (carbón, petróleo) sea elevado ([3]).

Según se indicó antes, los principales factores que actualmente influyen sobre la ubicación de las plantas atómicas son razones de seguridad y facilidades de abastecimiento del agua de enfriamiento. Cuando tales condiciones se satisfagan se tendrá además en cuenta para la ubicación, la posición de los centros de consumo y la importancia de los sistemas existentes de transmisión de la energía.

El costo de los sistemas de transmisión depende casi exclusivamente de la potencia a transmitir y de la distancia; mientras que el costo de operación por kW a partir de ciertos límites disminuye a medida que la potencia transmitida aumenta ([3]).

Por consiguiente, para elevados factores de carga, el costo de la transmisión por kWh se reduce. Es decir que cuando las instalaciones de generación que atienden la carga de base funcionan a un elevado factor de carga, la distancia de la transmisión tiene menor importancia en el costo de la energía.

Según se indicó antes, el riesgo de accidente en las plantas atómicas se reducirá notablemente con las cubiertas de protección que encerrarán al reactor y los sitios donde exista el peligro de expulsión de partículas o gases radioactivos; así como también con el desarrollo de sistemas núcleoeléctricos más seguros, como ocurre con los que utilizan el reactor de grafito refrigerado con gas, preconizado en Gran Bretaña. De aquí se deduce que con el perfeccionamiento de las plantas atómicas desaparecerán las razones que actualmente conducen a la ubicación de aquéllas algo alejadas de los centros de consumo.

Sistemas mixtos interconectados de gene-

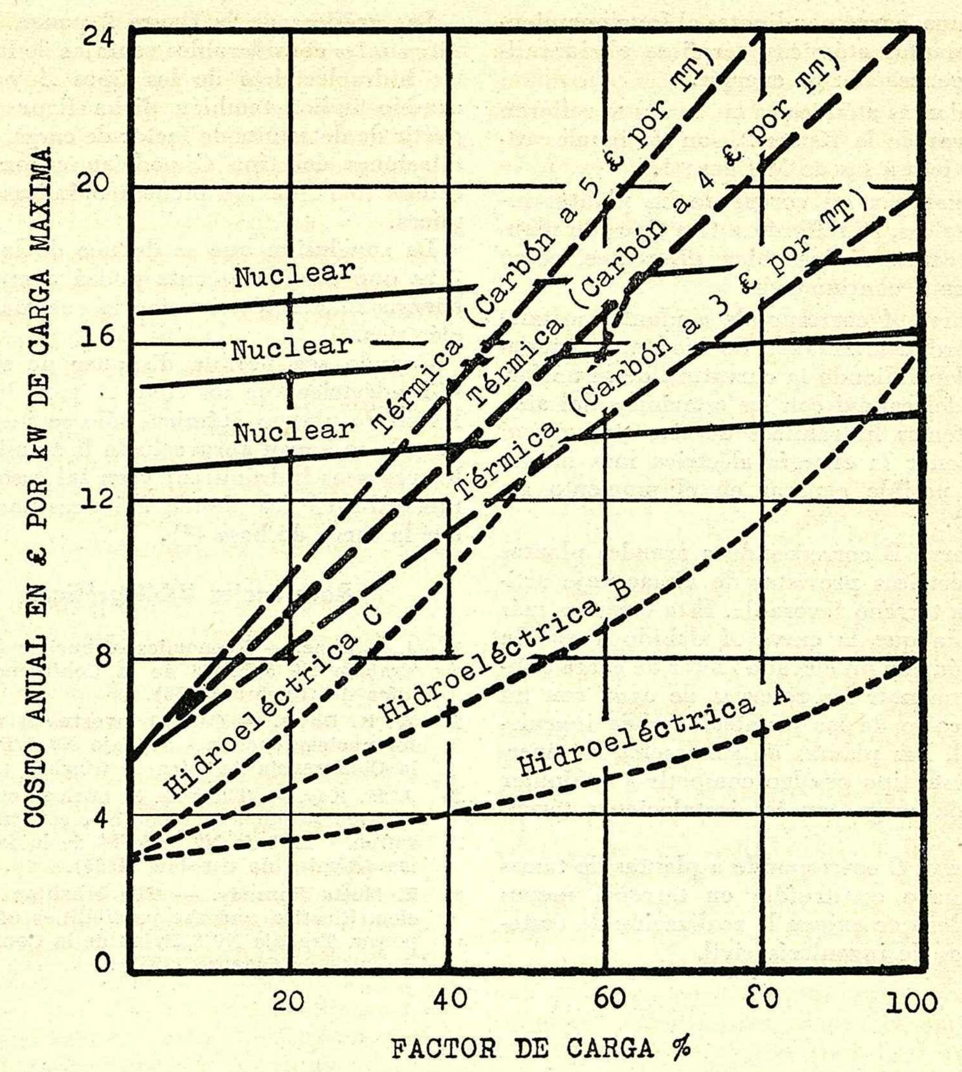


Figura 2. - Diagrama comparativo de costos de la energía núcleoeléctrica, termoeléctrica e hidroeléctrica

ración de energía. — Para el empleo de las plantas atómicas en sistemas mixtos de generación de energía, se recomienda que las plantas atómicas atiendan la carga básica y que las instalaciones térmicas atiendan los picos.

La necesidad de que las plantas atómicas funcionen a un elevado factor de carga es tal, que se recomienda estudiar la posibilidad de que se instalen hidro-estaciones mediante las cuales se consiga por bombeo una reserva hidráulica que se utilizaría para generar electricidad durante el pico (3).

La competencia entre las centrales atómicas y las plantas hidroeléctricas. — El análisis económico comparativo entre las centrales atómicas y las plantas hidroeléctricas es más complejo que en el caso de las instalaciones termoeléctricas debido a la gran variación de características y de costos de instalación en el caso de las plantas hidroeléctricas, los que pueden variar desde 100 dólares por kilowatio hasta 1000 dólares por kilowatio para obras hidráulicas con varios fines (generación de energía, regularización de ríos, irrigación, navegación, etc.).

No obstante las dificultades que se presentan para aquel examen comparativo, las ventajas económicas de la energía hidroeléctrica son tales que surgen rápidamente de un estudio somero.

En la figura 2, Kay (3) ha representado gráficamente la variación de los costos anuales en libras esterlinas por kilowatio de car-

ga máxima, correspondientes al funcionamiento de plantas atómicas, térmicas e hidráulicas de generación de energía.

Las plantas atómicas a las cuales se refieren las curvas de la figura 2, son de iguales características a las de la figura 1.

En cuanto a las curvas de las plantas hidroeléctricas, se refieren a tres tipos de plantas de características bien diferentes, como se indica a continuación.

La curva *A* corresponde a plantas instaladas sobre derivaciones de ríos muy caudalosos; dependiendo la curvatura de la uniformidad del caudal con las estaciones del año. Los sistemas hidráulicos de este tipo permi ten obtener la energía eléctrica más barata que es posible generar en el momento actual ([3]).

La curva B corresponde a grandes plantas hidroeléctricas provistas de almacenaje artificial en terreno favorable. Esta curva es más empinada que la curva *A* debido a que la operación con un elevado factor de carga obliga a aumentar las reservas de agua con un mayor costo de las instalaciones de ingeniería civil. Las plantas de generación de energía de este tipo pueden competir a cualquier factor de carga con las instalaciones térmicas ([3]).

La curva *C* corresponde a plantas de tamaño pequeño construídas en terrenos menos favorables que exigen la realización de costosas obras de ingeniería civil.

Las gráficas de la figura 2 ponen de manifiesto las considerables ventajas de las plantas hidroeléctricas de los tipos *A* y *B*; en cambio indica también dicha figura que a partir de determinado factor de carga, las instalaciones del tipo *C* podrían encontrar la competencia de las plantas atómicas o térmicas.

La conclusión que se deduce de la figura 2 es que sólo raramente podrá competir la energía núcleoeléctrica con la energía hidroeléctrica.

Cuando sea posible disponer de sistemas hidroeléctricos de los tipos *A* y *B*, la instalación de plantas atómicas sólo se justificará cuando se hayan aprovechado la totalidad de los recursos hidráulicos; y en tal caso, deberán utilizarse las plantas atómicas para atender la carga de base ([3]).

Referencias Bibliográficas

1) J. A. Lane. — Economics of nuclear power. - Trabajo Nº 8/P/476 de la Conferencia Atómica de Ginebra (1955).

2) W. K. Davis. — Capital investment required for nuclear energy. - Trabajo Nº 8/P/477 de la Conferencia Atómica de Ginebra (1955).

3) J. M. Kay. — The role of nuclear energy in relation to other methods of electricity generation. - Trabajo Nº 8/P/758 de la Conferencia Atómica de Ginebra (1955).

4) E. Motta Rezende. — The brazilian plan of electrification and the possibilities of atomic power. Trabajo Nº 8/P/125 de la Conferencia Atómica de Ginebra (1955).

CUARTA PARTE

LAS CONCLUSIONES DE LA CONFERENCIA DE GINEBRA Y EL FUTURO PROGRAMA ENERGETICO DEL URUGUAY

CAPITULO IX

Las necesidades energéticas del Uruguay en la segunda mitad del Siglo XX

Introducción. — Dentro de un clima de franco optimismo y de entusiasta cordialidad, se reunieron en la tarde del 20 de agosto los 1,600 delegados de la Conferencia de Ginebra para participar en el último acto de la más importante de las reuniones técnico-científicas realizada en el Mundo hasta entonces.

Era unánime la opinión de que la Conferencia había sobrepasado todas las esperanzas y superado las más exigentes expectativas. Se consideraba además, que con la realización de la Conferencia se había dado un gran paso adelante en la difusión en el Mundo del uso de la energía atómica con fines pacíficos.

El discurso de clausura que en esa oportunidad pronunciara el Presidente de la Conferencia, doctor Homi Bhabha, Presidente también de la Comisión para la Energía Atómica de la India, vino a resumir tan ajustadamente aquellos pensamientos, que sus palabras encontraron una cálida acogida en la concurrencia que colmaba una vez más la monumental sala de asambleas del Palacio de las Naciones.

El Doctor Bhabha se refirió al importante adelanto alcanzado por la generación de la energía eléctrica a partir de la fisión atómica, el cual permite afirmar sin vacilaciones que nos encontramos en el momento histórico en que una nueva fuente de energía se pondrá al servicio de la Humanidad.

Señaló el Doctor Bhabha que como consecuencia del progreso en el diseño de las plantas atómicas, se obtienen cifras cada vez más favorables para el costo de la energía núcleoeléctrica; destacando que aún en el estado actual del desarrollo técnico de dichas plantas, éstas podrían competir con las centrales térmicas en muchas regiones del Mundo donde el costo de los combustibles es elevado.

El orador mencionó también el plan de expansión atómica de Gran Bretaña, haciendo notar que en el año 1975 las plantas atómicas de dicho país permitirán economizar anualmente 40 millones de toneladas de carbón, las que de otro modo se consumirían en las centrales térmicas.

Afirmó además la evidencia de que en los próximos años se producirán notables adelantos en la Ingeniería Nuclear; y que a partir del año 1965 se realizará la rápida difusión de las plantas atómicas en el Mundo.

Por este motivo, indicó el Doctor Bhabha, serán muchos los países que revisarán sus programas de abastecimiento de energía con el objeto de dar cabida en ellos a la generación de la energía núcleoeléctrica.

¿Hasta qué punto influirá la energía atómica en el desenvolvimiento progresista de nuestro país?

Estoy seguro de que es ésta la pregunta a la cual se habrán enfrentado la gran mayoría de los participantes de la Conferencia de Ginebra.

Ha sido también ésta una de las preguntas que formuló la Secretaría General de las Naciones Unidas en el temario que sirvió de base para la Conferencia.

Utilizando como fuente de ilustración las memorias presentadas por el Uruguay a la Conferencia, trataré de hacer un rápido esquema que permita dar idea del alcance que podrá tener en nuestro país la utilización de la energía atómica.

La documentación de referencia se encuentra basada en las estadísticas de consumos y de generación de energía eléctrica en el país. Es por ello que la colaboración de la Administración de las Usinas y los Teléfonos del Estado fué muy importante en la preparación de dichas memorias.

Antes de entrar en materia deseo hacer presente que la revisión del programa energético del Uruguay es asunto arduo y extenso, que requiere una información muy vasta y, en particular, estudios estadísticos muy comple-

tos. Por ello las consideraciones que siguen tienen solamente por objeto formar una idea general sobre el planteamiento del problema, así como sobre las soluciones que a primera vista se presentan como más factibles.

Las futuras necesidades de energía del Uruguay. — El programa energético del Uruguay para la segunda mitad del siglo actual tiene que estar basado sobre los consumos de energía previstos para ese período de tiempo.

Nos encontramos pues frente al importante problema de la previsión de las demandas de energía, del mismo modo que la Conferencia de Ginebra hubo de considerar la estimación de los futuros consumos mundiales de energía, para determinar el lugar que debería corresponder a la energía atómica frente a las demás fuentes de energía utilizables.

Ha sido necesario por consiguiente trazar la curva de los consumos de energía eléctrica previstos para el Uruguay hasta el año 2000; y para el trazado de dicha curva se han tenido en cuenta las estadísticas de consumos correspondientes a los últimos 20 años, así como los factores que intervienen directamente sobre los consumos de energía eléctrica, tales como el aumento de la población, el incremento del desarrollo industrial y el aumento de los consumos de energía eléctrica domésticos como consecuencia del mejoramiento de los sistemas de vida.

Para prever los consumos de energía correspondientes a los próximos diez años, se ha supuesto que se mantenga en ese período de tiempo la ley de aumento de consumos que se cumplió durante los 20 años comprendidos entre 1935 y 1955; exceptuando el intervalo anormal de 1940 a 1948 en que la curva de consumos acusa las restricciones impuestas por la guerra y la post-guerra.

En el intervalo de 1935 a 1955 la ley de aumento de consumos de energía acusa un incremento anual del 9% sobre el consumo de energía correspondiente al año anterior.

Se justifica prever que los consumos del intervalo 1955-1965 cumplen la misma ley debido a que se mantienen en el país las características generales que han regulado su desenvolvimiento industrial y demográfico en los últimos 20 años y no hay razones que pudieran justificar una intensificación más acentuada de los consumos de energía eléctrica, como ocurre en algunas regiones al entrar en servicio grandes fuentes de energía hidroeléctrica a bajo precio.

Sobre la base de estas previsiones, los consumos de energía del Uruguay alcanzarían a 800 millones de kilowatios-hora en 1955, para llegar a 1,900 millones en 1965.

Interesa comparar el incremento anual del 9% previsto para los consumos de energía eléctrica del Uruguay, con los valores adoptados por muchos países para la previsión de sus curvas de consumos en la segunda mitad del siglo actual.

Así por ejemplo Austria adoptó un incremento del 5,3% para el período 1950-1980; Dinamarca el 7,5% para el período 1955-1975 y el 3,5% para el período 1975-2000; China el 10,5% para el período 1955-1965 y el 6% para el período 1965-2000; Nueva Zelandia el 7,6% para el período 1955-1965 y el 6% para el período 1965-1975 (2).

Las cifras indicadas dan algunas seguridades respecto a la corrección de las previsiones hechas para los consumos de energía del Uruguay en el período 1955-1965.

Se estableció sobre la base que acabamos de indicar el arranque de la curva de consumos que ilustra la figura 1.

La gráfica que ilustra la figura indica la variación prevista para los consumos de energía en los próximos 45 años, así como también la cantidad de energía que será necesario generar para atender dichos consumos.

La zona comprendida entre las curvas de producción y de consumos, corresponde a las cantidades importantes de energía que se pierden en la distribución. En el diagrama que ilustra la figura se ha previsto que el porcentaje de pérdidas se vaya reduciendo a medida que aumentan los perfeccionamientos técnicos en la distribución.

Si se mantuviera en el intervalo 1965-2000 el porcentaje de aumento anual previsto para el período 1955-1965 se llegaría a cifras exageradamente elevadas para los consumos de energía frente a la población previsible para el país en el año 2000. Se obtendrían así consumos unitarios de energía muy superiores a los que actualmente corresponden a regiones de elevado desarrollo industrial y de costo de energía muy bajo.

Por este motivo se estimó más conveniente trazar la curva de consumos en el intervalo 1965-2000 mediante una interpolación entre el consumo de 1,900 millones de kilowatios-hora previsto para el año 1965 y el que podría corresponder al año 2000 de acuerdo con la población del país y el consumo unitario de energía que podrían preverse para el final del Siglo XX.

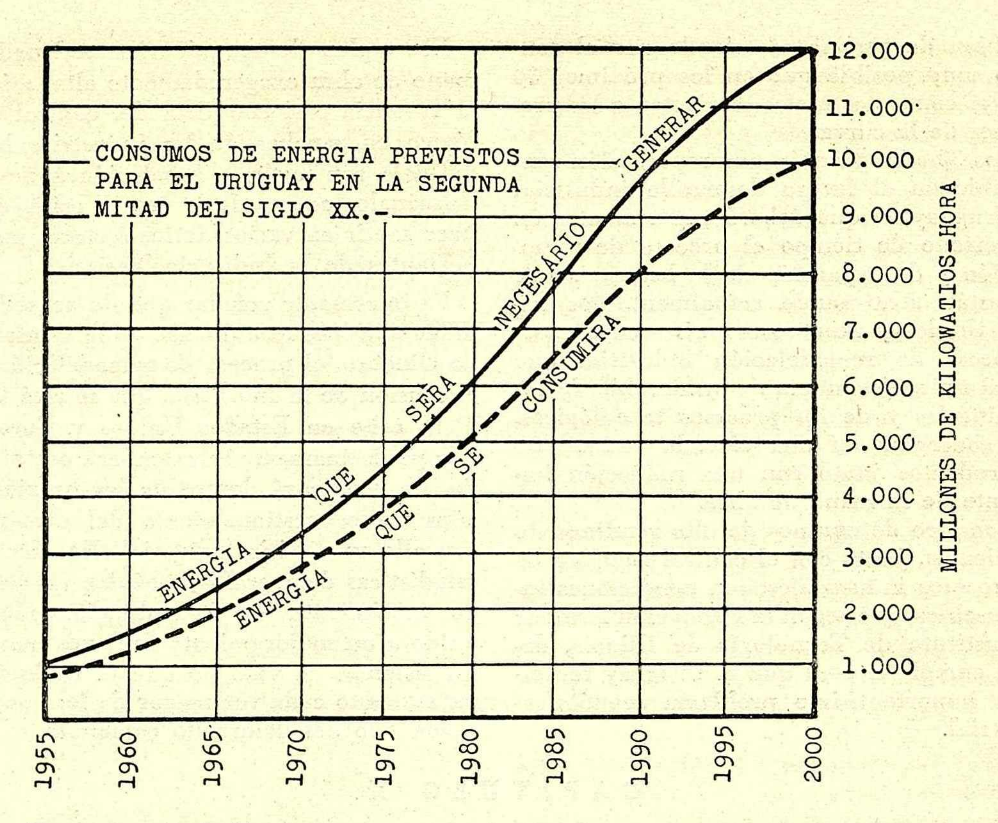


Figura 1. - Variación de los consumos de energía en el Uruguay prevista para la segunda mitad del Siglo XX

Es difícil establecer cifras suficientemente exactas para la población del Uruguay en el año 2000; pero teniendo en cuenta los diferentes factores que influyen o que podrán influir sobre el desarrollo demográfico del país y considerando de un modo particular el crecimiento vegetativo, así como el aporte inmigratorio, puede estimarse que la población del país alcanzaría en aquella fecha a unos 10 millones de habitantes.

El consumo unitario de energía por habitante y por año se calculó teniendo en cuenta las estadísticas de la UTE llegándose por extrapolación a un consumo de 1000 kWh por año y por habitante, siendo el consumo medio actual de 235 kWh por habitante y o.

Es interesante hacer notar que el consumo actual de energía eléctrica en la República Argentina, sería de 266 kWh por habitante y por año; previéndose que dicho consumo llegará en 1980 a 900 kWh por habitantes y por año (4).

Estas cifras ponen de manifiesto por una parte, los consumos unitarios similares de energía eléctrica en los países del Río de la Plata, así como el carácter más bien pesimista de las previsiones del Uruguay frente a las previsiones realizadas para los consumos unitarios de energía en la República Argentina.

El aumento de consumos unitarios previstos se justificaría además porque el desarrollo progresista de un país va unido a la difusión creciente del uso de la energía eléctrica por sus habitantes y porque el desarrollo industrial trae también un incremento de los consumos de energía eléctrica, el cual se refleja sobre el cálculo demográfico realizado.

La energía consumida en el Uruguay en el año 2000 ascendería por consiguiente a unos 10,000 millones de kWh.

La interpolación entre los consumos correspondientes a los años 1965 y 2000 se efectuó reduciendo gradualmente los incrementos anuales de consumos, que pasaron del 9% para el año 1965 al 3% en la parte final de la curva.

Es indudable que los consumos previstos para el intervalo de tiempo correspondiente al intervalo 1985-2000 podrían calificarse

más bien de pesimistas; siendo por el contrario muy posible que en los próximos 30 años los consumos reales se ajusten a las previsiones de la curva.

Estos 30 años tendrán una repercusión considerable en el futuro desarrollo industrial del Uruguay, el que deberá experimentar en ese período de tiempo el proceso de remodelación y de expansión de la Industria por que están atravesando actualmente los Estados Unidos y numerosos países europeos.

Proceso de remodelación industrial que exigirá un mejoramiento considerable de las maquinarias y de los procesos tecnológicos, para conseguir así una elevada calidad en los productos junto con una reducción importante de la mano de obra.

El empleo de equipos de alto rendimiento y eficiencia, junto con el control riguroso de los procesos industriales, son condiciones indispensables, que según la Fundación Armour del Instituto de Tecnología de Illinois, deberán cumplirse para que el Uruguay resuelva su importantísimo problema económico-industrial.

El empleo de maquinarias anticuadas, la mano de obra exageradamente alta, así como la ausencia casi completa del control tecnológico en muchas de las industrias básicas del país, son según la Fundación Armour las principales causas de la severa crisis que se hace sentir en varios de los sectores más importantes de la Industria Nacional.

Es interesante señalar que de acuerdo con las previsiones examinadas en la Conferencia de Ginebra, el proceso de remodelación y de expansión de la Industria, que se está llevando a cabo en Estados Unidos y Europa, y que paulatinamente se extenderá por el Mundo, no producirá dentro de los próximos 45 años un congestionamiento del comercio y con ello una crisis industrial. En efecto, las estadísticas demográficas señalan un acentuado crecimiento de la población mundial, unido a un mejoramiento cada vez mayor de los sistemas de vida, lo que se traducirá en un aumento cada vez mayor de los consumos y con ello del desarrollo comercial.

CAPITULO X

La evolución del sistema energético del Uruguay en la segunda mitad del Siglo XX

Posibles formas de atender las necesidades energéticas del Uruguay. — En el examen del futuro sistema energético del Uruguay, aparece frente a la previsión de los consumos de energía, el problema igualmente importante relativo a la forma como deberán atenderse tales demandas de energía.

De la curva de consumos, que señala la variación con el tiempo de las necesidades de energía a satisfacer, es necesario deducir la curva de cargas máximas que corresponde a la potencia de las instalaciones de generación de energía, que correlativamente se deben implantar para atender tales necesidades.

Tomando como punto de partida la curva de consumos a que nos hemos referido antes y analizando al mismo tiempo la variación en los 10 últimos años, de la curva de cargas máximas correspondiente al sistema de abastecimiento de energía al país, ha sido posible prever la curva de cargas máximas que se producirán en los próximos 45 años, la cual regulará el crecimiento de las instalaciones de generación de energía.

La curva de cargas máximas previstas señala en forma evidente las diversas oportunidades en que deberá ser reforzado el sistema energético del país, en el cual interviene un factor de importancia tan considerable, que de él depende fundamentalmente la solución del abastecimiento de energía al Uruguay; es éste, el aprovechamiento hidroeléctrico del Salto Grande.

Las opiniones generales vertidas en la Conferencia de Ginebra respecto a la utilización de la energía atómica pueden concretarse en las dos afirmaciones siguientes: a) es un hecho indiscutible la generación industrial de la energía eléctrica a partir del calor desprendido en la fisión atómica; b) la difusión de las plantas atómicas en el Mundo sólo comenzará a partir de los próximos 10 años. Se requerirá ese intervalo de tiempo para el ajuste de los procesos y el perfeccionamiento de las instalaciones de acuerdo con los resultados experimentales que se recojan en el funcionamiento de las grandes plantas atómicas en construcción o en proyecto.

Es por lo tanto indudable que la generación de la energía núcleoeléctrica no intervendrá en el sistema energético del Uruguay

antes de los próximos 10 años, en que las demandas de energía deberán ser atendidas con plantas termoeléctricas e hidroeléctricas.

La utilización del Salto Grande es asunto de tal envergadura, que no parecería posible por el momento que pueda incorporarse a nuestro tema energético antes de los próximos 10 años.

Por este motivo, el panorama futuro del abastecimiento de energía al Uruguay puede situarse en el tiempo dentro de dos etapas perfectamente definidas: a) el período 1955-65 en el cual las necesidades de energía serán atendidas incrementando las centrales térmicas y el sistema hidroeléctrico del Río Negro; y b) el período 1965-2000 en el cual aparecerán innovaciones fundamentales con la posible habilitación de la central hidroeléctrica del Salto Grande y con la obligada implantación en el país de la energía atómica.

El desarrollo del sistema energético del Uruguay en el período 1955-65. — Como lo acabamos de indicar, la energía atómica no influirá en el desarrollo energético del Uruguay durante los próximos 10 años. Por ello, es lógico suponer que en este intervalo de tiempo se irán cumpliendo gradualmente las previsiones de la UTE, las que comportan dos ampliaciones sucesivas de la potencia térmica, de 57,000 y 81,000 kilowatios respectivamente, así como la habilitación de la Central Hidroeléctrica de Rincón de Baygorria en el Río Negro, con 88,000 kilowatios de potencia.

Con la ampliación de la Central Batlle y Ordoñez recientemente adjudicada, la potencia térmica de Montevideo asciende a unos 188,000 kilowatios; completándose el actual sistema energético con la Central Hidroeléctrica del Rincón de Bonete, cuya potencia es de 108,000 kilowatios.

De acuerdo con las previsiones de futuro, la potencia instalada pasará de un total de 296,000 kilowatios en 1955 a 522,000 kilowatios en 1965.

El problema energético del Uruguay se hará mucho más complejo a partir del año 1965, porque la difusión de la energía atómica en el Mundo obligará a tener en cuenta en el sistema energético a la nueva fuente de energía, la que no sólo podrá presentar frente a la energía térmica y a la energía hidráulica ventajas de orden económico; sino que al mismo tiempo ofrecerá frente a la energía térmica la seguridad del mantenimiento de los servicios de generación de energía aún en el caso de interrumpirse los abastecimientos de combustibles al país.

Es por ello que antes de entrar a la consideración de las soluciones posibles para el aprovisionamiento de energía al Uruguay en el intervalo 1965-2000 es necesario realizar un breve examen comparativo del punto de vista económico entre las tres especies de energía que podrán completar el sistema energético del país en dicho plazo de tiempo.

La generación de energía núcleoeléctrica frente a la generación de energía térmica y de energía hidroeléctrica en el Uruguay. — Los datos numéricos de que se dispone hasta el momento sobre el costo de la electricidad generada a gran escala en las plantas núcleoeléctricas, se encuentran basados en cálculos realizados sobre el papel.

En el mejor de los casos aquellas cifras representan el resultado del análisis de los factores técnicos y económicos más importantes que gravitan sobre la generación de la energía núcleoeléctrica; y las apreciables diferencias que a primera vista se notan entre los costos, se deben principalmente a la influencia de las diferentes hipótesis que sirvieron de base para los cálculos en lo que respecta a la potencia de las instalaciones, a los plazos y formas de amortizar las instalaciones, a los factores de carga previstos, etc.

Interesa sin embargo destacar, que no obstante el rango relativamente amplio dentro del cual se encuentra comprendido el conjunto de las predicciones optimistas y pesimistas, las opiniones no pueden ser en general más alentadoras con respecto al porvenir de la energía atómica.

En el examen económico comparativo de 16 plantas núcleoeléctricas proyectadas últimamente en los Estados Unidos, se ha encontrado que los costos de instalación oscilan desde U$S 183.00 por kilowatio de potencia instalada, para una planta de la Flour Corporation de 200,000 kilowatios, con reactor lento moderado y refrigerado con agua, hasta U$S 450.00 por kilowatio para una planta de la Detroit Edison de 100,000 kilowatios, con reactor rápido reproductor ([3]).

Entre los proyectos más interesantes se destaca una planta atómica de la General Electric de 300,000 kilowatios de potencia, con reactor del tipo "hervidor de agua" y cuyo costo de instalación es de U$S 226.00 por kilowatio.

En el costo del kilowatio-hora generado influyen principalmente el costo de instalación,

el factor de carga, el costo de mantenimiento y el costo del combustible.

En la comunicación presentada por Lane a la Conferencia Atómica de Ginebra ([3]) se establecieron las condiciones que se requirían para generar la energía núcleoeléctrica dentro de costos predeterminados.

Para generar energía eléctrica a 4 milésimos de dólar el kilowatio-hora, se requerirían plantas con un costo de instalación máximo de U$S 180.00 por kilowatio, que operaran con un factor de carga del 90%, cuyos gastos de operación y mantenimiento no excedieran de 0,5 milésimos de dólar por kilowatio-hora y en las que el costo del combustible nuclear fuera inferior a 0.1 milésimo de dólar por kilowatio-hora ([3]).

Estas condiciones parecerían ser algo difíciles de conseguir con el estado actual del desarrollo de la Ingeniería Nuclear; en cambio parecen muy posibles de satisfacer los requisitos establecidos por Lane para generar energía núcleoeléctrica a 7 milésimos de dólar por kilowatio.

A tal efecto se requerirían plantas con un costo máximo de instalación de unos U$S 250.00 por kilowatio, que operaran con un factor de carga de 80%, con un costo de operación y mantenimiento de 1 milésimo de dólar por kilowatio-hora; y con costos de combustible nuclear comprendidos entre 0,5 y 1,2 milésimos de dólar por kilowatio-hora.

Interesa hacer notar que, como se indica en la Tercera Parte de esta monografía, hay muy fundadas esperanzas en que se produzcan en breve fecha importantes adelantos en la técnica de los reactores reproductores, cuyo empleo hará posible reducir los costos del combustible nuclear por debajo del diezmilésimo de dólar, lo cual permitirá generar energía nucleoeléctrica a costos comprendidos entre 5 y 7 milésimos de dólar por kilowatio-hora; es decir a costos comprendidos entre 17 y 25 milésimos del peso uruguayo.

Para tener una idea de las posibilidades que se presentan en el Uruguay para que la energía atómica pueda entrar en competencia con las otras especies de energía, basta tener en cuenta que en el año 1952 el costo de generación de la energía térmica fué del orden de los 50 milésimos por kilowatio-hora, con un factor de carga de 22%, utilizando las instalaciones de la Central Batlle y Ordoñez junto con la anticuada Central Calcagno.

Por su parte, el costo de la energía generada en la Central Hidroeléctrica de Rincón de Bonete y puesta en Montevideo, fué aproximadamente de unos 16 milésimos, con un factor de carga de 41% y un 10% de pérdidas en la línea de trasmisión.

Las cifras que se acaban de mencionar ponen en evidencia la posibilidad de que la energía atómica pueda competir ventajosamente en nuestro país con la energía térmica; y al mismo tiempo señalan una equivalencia de costos de generación con la energía hidroeléctrica, que sin duda alguna se desplazará en el futuro en favor de la energía atómica.

La incorporación de las reservas hidráulicas del país a su sistema energético. — Dentro del programa de utilización de las reservas hidráulicas del país existe la posibilidad de habilitar las plantas hidroeléctricas que a continuación se mencionan con indicación de la respectiva potencia disponible.

Rincón de Baygorria (R. Negro)	88,000 kW.
Paso del Puerto (R. Negro) ..	117,000 "
Yapeyú (R. Negro)	90,000 "
Salto Grande (R. Uruguay en común con la República Argentina potencia total 1.260.000 kW)	630,000 "

Es muy probable que la implantación de la energía atómica introduzca algunas modificaciones en el plan de obras hidroeléctricas, las que por razones circunstanciales de tiempo es posible que no sean de gran importancia, salvo que se presenten dificultades insalvables para la construcción de las obras del Salto Grande.

Según hemos indicado antes, las opiniones vertidas en la Conferencia de Ginebra coinciden en afirmar que sólo a partir de 1965 comenzarán a difundirse las plantas atómicas en el Mundo. Por este motivo se encuentra ampliamente justificada la construcción de la Central de Baygorria, que debería habilitarse antes de 4 años; y no habrían razones para desistir de la construcción de la Central de Paso del Puerto, cuya habilitación podría fijarse para poco después de 1965; es decir para la fecha en que se iniciaría la competencia entre las plantas atómicas y las plantas hidroeléctricas.

Antes de esta fecha será imprescindible aumentar la potencia instalada para atender el aumento de los consumos de energía del país y ello será posible incrementando las instalaciones térmicas y las plantas hidroeléctricas.

Es muy posible que razones de índole eco-

nómica y técnica determinen dejar en suspenso la construcción de la Central Hidroeléctrica de Yapeyú sobre el Río Negro, la que podría ser sustituída con la instalación en el país de la primera planta atómica. Esta planta podría tener una potencia de 50,000 a 100,000 kilowatios y su objeto sería atender las demandas de energía de la zona Sudeste del país que es la que se encuentra más alejada de las Usinas Térmicas y de las Centrales Hidroeléctricas.

En lo que respecta a las obras de Salto Grande, todo conduce a justificar su realización; debido a su triple cometido funcional: 1º) como fuente de energía; 2º) como elemento indispensable para la habilitación y regulación de una importante vía fluvial; y 3º) como base para sistemas de riego en zonas particularmente aptas para las explotaciones agrícolas.

Hemos indicado antes que los costos de la energía atómica podrían situarse entre 17 y 25 milésimos el kilowatio-hora. Se encuentran precisamente dentro de estas cifras, los costos unitarios calculados para la generación de la Central Hidroeléctrica de Salto Grande.

Bastaría solamente este hecho para decidir la construcción de esta obra que permitirá además hacer accesible a la navegación un gran tramo de una vía fluvial tan importante como el Río Uruguay.

Sería de gran interés que la Comisión Técnica-Mixta de Salto Grande reinicie cuanto antes sus actividades y que se llegue rápidamente a la fórmula que permita la financiación de la Obra; fórmula que parecería entreverse en el artículo 4º del Convenio Uruguayo-Argentino del 30 de diciembre de 1946, en el que se prevé que la República Argentina tome transitoriamente parte de la mitad de la potencia total instalada que correspondería al Uruguay.

No es arriesgado suponer por consiguiente, que durante los primeros años de funcionamiento de la Central Uruguaya de Salto Grande se destine su producción total a la República Argentina, cuyas necesidades energéticas serán entonces mucho más urgentes que las del Uruguay.

Durante ese tiempo se instalarían las primeras centrales atómicas argentinas, cuya habilitación, permitiría incorporar luego gradualmente la producción de la Central Uruguaya de Salto Grande al sistema energético de nuestro país.

El desarrollo del sistema energético del Uruguay en el intervalo 1965-2000 incluyendo el aprovechamiento hidroeléctrico del Salto Grande. — Para tener idea de la repercusión que podrá tener el aprovechamiento del Salto Grande sobre el sistema energético futuro del país, basta tener en cuenta que en el año 1965 la potencia instalada para el abastecimiento de energía al país será de unos 522,000 kilowatios; mientras que la potencia utilizable de la Central Uruguaya de Salto Grande alcanzará a los 630,000 kilowatios.

Como hemos indicado antes, es muy posible que la financiación de esta inmensa obra obligue a destinar a la República Argentina una gran parte de la energía generada en los primeros años de la habilitación de la obra. Por ello no pueden calificarse de pesimistas las previsiones que aparecen en el diagrama de cargas que ilustra la figura 2 y en la cual se introduce la Central de Salto Grande en el sistema energético del país recién a partir del año 1975, suponiendo que se insuman unos veinte años entre el proyecto y la construcción de la obra, así como en la amortización de una parte sustancial de su costo, destinando a la Argentina la energía generada en la Central Uruguaya.

Es muy posible que el período 1965-2000 se inicie con la habilitación de la Central Hidroeléctrica de Paso del Puerto con una potencia de 117,000 kilowatios, con lo cual probablemente se interrumpirá el plan de aprovechamiento del Río Negro, ya que razones económicas justificarían sustituir la Central Hidroeléctrica de Yapeyú por una planta atómica.

A la Central de Paso del Puerto seguirá casi enseguida un refuerzo de 90,000 kilowatios en la potencia térmica. Por otra parte la difusión de las plantas atómicas en el Mundo, así como el adelanto adquirido entonces por la tecnología de los reactores nucleares, justificaría que se estudiara seriamente la instalación de la primera planta atómica en el país, la que como hemos dicho antes, es muy probable que convenga ubicarla en la zona Sudeste que se encuentra alejada de las usinas térmicas o hidráulicas. Se conseguiría así reducir el costo de la energía consumida en esa zona, que en ausencia de la planta atómica se vería encarecida por el transporte.

Hemos supuesto que la habilitación de esa central atómica se realice poco después de 1970, previendo que en 1965 sea posible de-

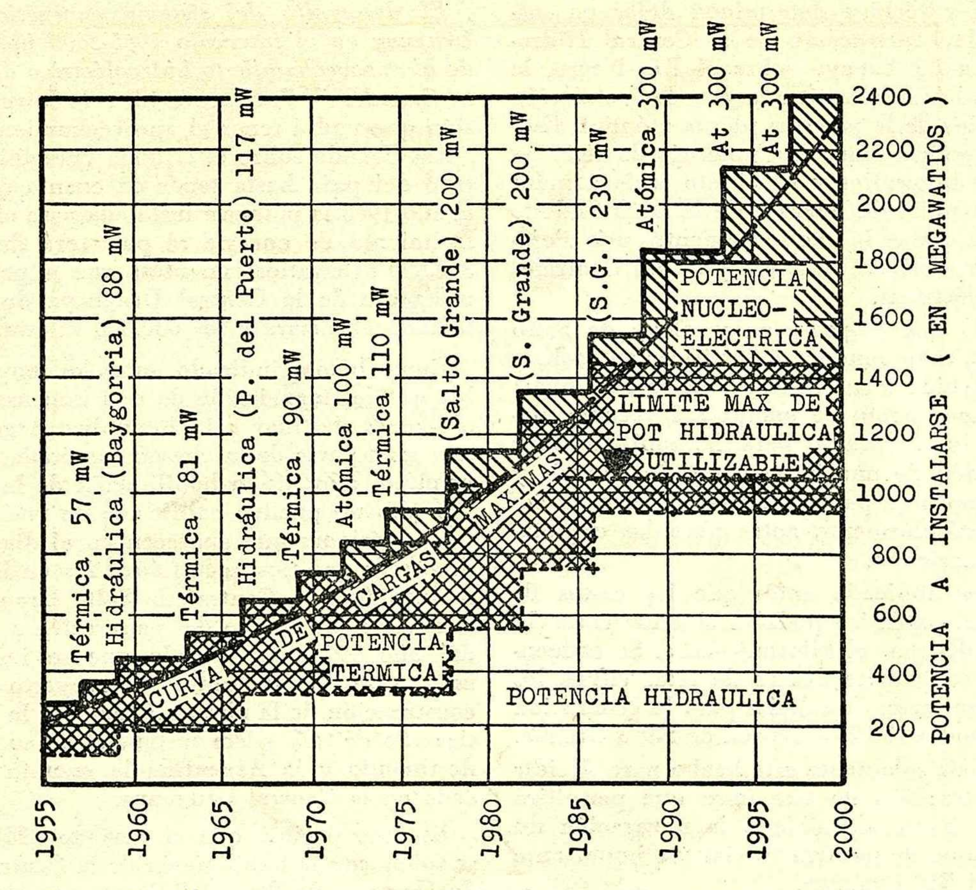


Figura 2. - Diagramas de cargas del sistema energético del Uruguay incluyendo el aprovechamiento hidroeléctrico del Salto Grande

cidir sin dificultades respecto al tipo y características de planta atómica que convendrá instalar.

Es muy posible que en la elección de las primeras plantas atómicas a instalarse en el país se dé preferencia a las de mediana potencia. La experiencia recogida en estas plantas será un factor de considerable importancia para el proyecto y la realización de las grandes plantas atómicas del futuro, cuyo personal técnico y auxiliar podrá adquirir así el adiestramiento previo necesario.

La orientación actual de la Tecnología de los reactores nucleares haría suponer que dicha planta estará dotada de un reactor reproductor, cuyo exiguo consumo de combustibles nucleares y de materiales fértiles hará innecesario que se instalen unidades para el tratamiento de los materiales usados en el reactor. Dichos materiales se almacenarían convenientemente durante algún tiempo, para luego remitirlos a las plantas de tratamiento y recuperación de sustancias fisionables, que muy posiblemente serían las mismas que provean de materias primas a la planta atómica.

A la instalación de la primera planta atómica seguirá una nueva ampliación térmica de 110,000 kilowatios, con la que es muy probable que se complete la potencia térmica utilizable en el país en el presente siglo.

En el diagrama de cargas que ilustra la figura 2, se prevé la incorporación sucesiva y fraccionada de la potencia de la Central Uruguaya de Salto Grande al sistema energético del Uruguay. Recién a partir de 1985 estaría la totalidad de la energía generada en dicha planta al servicio del país, cuyas reservas de energía hidráulica estarían entonces utilizadas en un 91%.

En las proximidades del año 1990 se hará sentir la necesidad de introducir grandes ampliaciones en el sistema energético, apareciendo entonces la instalación de grandes plantas atómicas como la solución indicada.

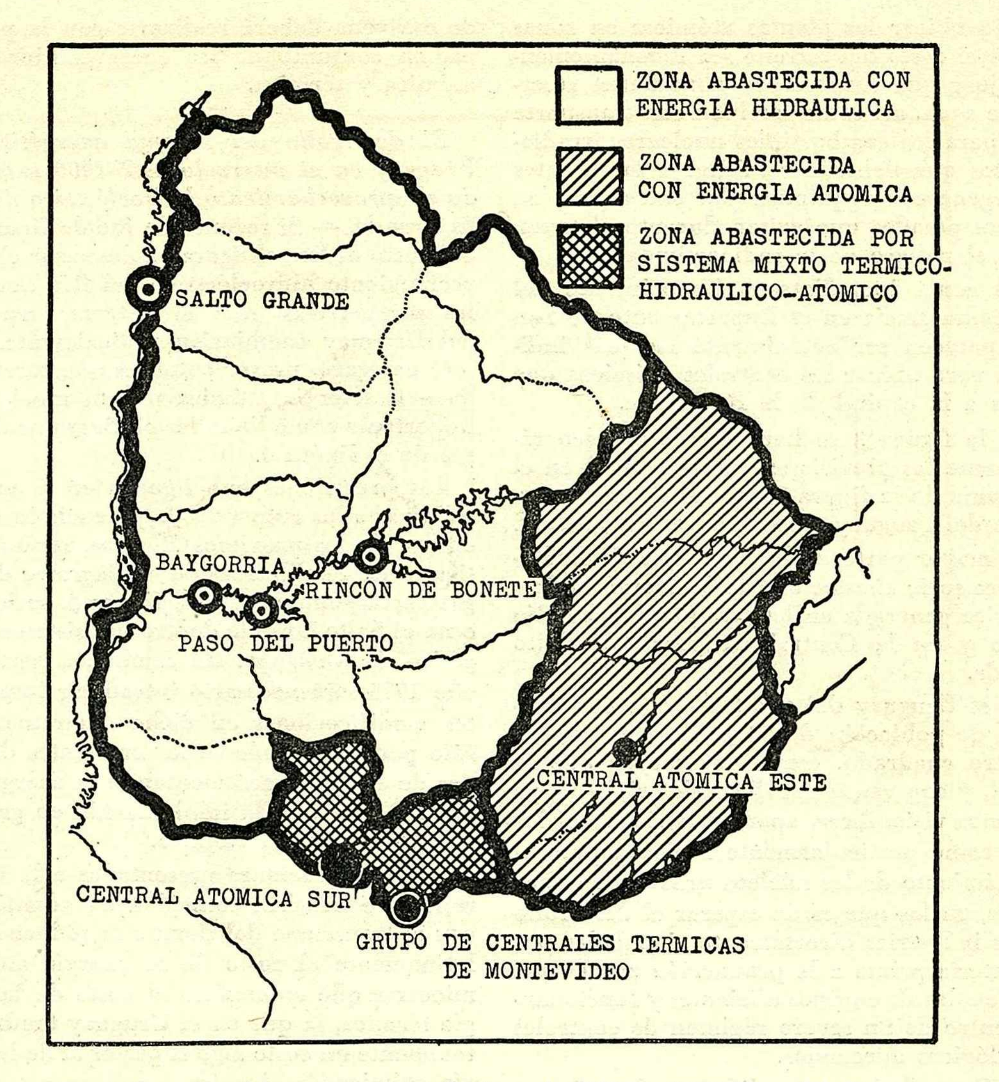


Figura 3. - Previsiones correspondientes al sistema energético del Uruguay al finalizar el Siglo XX incluyendo el aprovechamiento hidroeléctrico del Salto Grande

La gran demanda de energía eléctrica obligará en esas plantas atómicas a ampliaciones sucesivas de 300,000 kilowatios cada una, hasta completar los 900,000 kilowatios antes de finalizar el presente siglo, en que la potencia total instalada en plantas atómicas sobrepasará ya al millón de kilowatios, frente a 943,000 kW de plantas hidroeléctricas y 526,000 kW de usinas térmicas.

Como es muy posible que las mayores densidades de consumos de energía se sigan manteniendo en las proximidades de Montevideo, aparecería a primera vista indicado situar las grandes centrales atómicas en el Departamento de San José y en las proximidades del Río Santa Lucía, tal como lo indica la figura 3.

La ubicación fuera del Departamento de Montevideo se justificaría por razones de seguridad, las que han llevado a la Comisión de la Energía Atómica de los Estados Unidos a determinar el área del terreno necesario para la instalación de plantas núcleoeléctricas mediante una simple fórmula que exige un acre (0.4 hectárea) por kilowatio de potencia instalada.

Las plantas atómicas requerirán por consiguiente grandes superficies para su instalación.

Aun en el caso de que aquellas exigencias se reduzcan notablemente en el futuro como consecuencia de la mayor seguridad de las instalaciones, todo hace suponer que será ne-

cesario ubicar las plantas atómicas en zonas donde el costo del terreno sea razonablemente bajo y que cuenten con abundantes reservas de agua, así como también con transporte fácil para los combustibles nucleares irradiados, los que deberán remitirse a las plantas de regeneración química del extrangero en envases pesados que eviten durante el transporte el peligro de la radioactividad.

Las zonas inmediatas a las márgenes del Río Santa Lucía en el Departamento de San José parecen ser actualmente las más indicadas para ubicar las centrales atómicas que sirvan a la capital de la República.

En la figura 3 se han distribuído geográficamente las previsiones comprendidas en el diagrama de la figura 2 para el sistema energético del Uruguay al finalizar el siglo actual.

La mayor parte de la superficie de la República sería abastecida con la energía hidroeléctrica generada en las tres plantas del Río Negro y en la Central Uruguaya de Salto Grande.

En el Uruguay del año 2000, con una densidad de población de 53 habitantes por kilómetro cuadrado, tres veces mayor que la actual, y con un desarrollo industrial que ya podemos vislumbrar, aparece la Zona del Litoral como particularmente indicada para el florecimiento de los núcleos urbanos e industriales, en los que es de esperar el desarrollo de las industrias directamente vinculadas por la materia prima a la producción agropecuaria, dotadas de equipos eficientes y funcionando dentro de un severo régimen de controles tecnológicos adecuados.

La Zona Sudeste atendida por la primera Central atómica que se instale en el país es posible que experimente también un importante desarrollo industrial con características propias, en el cual tendrán un lugar importante las industrias extractivas y sus derivadas.

Es muy probable que la necesidad de mantener un elevado factor de carga en esta central atómica obligue a establecer tarifas especiales para favorecer los consumos de corriente a determinadas horas del día, lo cual podría dar origen al desarrollo de las industrias electroquímicas, que hasta ahora no han podido adquirir un mayor desenvolvimiento en el país debido al elevado costo de la energía eléctrica.

No hay motivos para suponer que Montevideo y sus inmediaciones dejen de ser la zona de mayor densidad de consumo de energía del país. Es por ello que el abastecimiento de esa zona deberá realizarse con la participación conjunto de las energías hidráulica, atómica y térmica.

El desarrollo del sistema energético del Uruguay en el intervalo 1965-2000 excluyendo el aprovechamiento hidroeléctrico del Salto Grande. — Si razones de índole financiera o de otro orden, obligaran a descartar el aprovechamiento hidroeléctrico del Río Uruguay, las perspectivas para el sistema energético del Uruguay cambiarían radicalmente, pues será necesario prever entonces que corresponda a la energía atómica un rol mucho más importante como lo indica el diagrama de cargas de la figura 4.

Las previsiones que figuran en el gráfico, relativas a los aumentos de potencia instalada dentro de los próximos 20 años, serían idénticas a las establecidas en el diagrama de cargas correspondientes a la figura 2, se incluya o no el Salto Grande dentro del sistema energético del Uruguay. En cambio, a partir del año 1975 será necesario introducir importantes modificaciones en dicho diagrama, pues sólo podrían atenderse las crecientes demandas de energía, incrementando la energía térmica o mediante la implantación en gran escala de la energía atómica.

Las informaciones presentadas a la Conferencia de Ginebra coinciden en admitir que con el transcurso del tiempo se reducirá paulatinamente el costo de la energía atómica, mientras que aumentará el costo de la energía térmica, la que en el Uruguay tendría actualmente un costo algo superior al de la energía atómica.

Por consiguiente, a partir de 1975 sería la energía atómica, la fuente de energía que tendría perspectivas más favorables para incrementar el sistema energético del país.

Dentro de las previsiones contenidas en el gráfico de la figura 4, la implantación de la energía atómica se iniciaría poco después de 1970 con la instalación de una central atómica de 50,000 a 100,000 kilowatios en la Zona Este del país, a la cual seguiría ocho años más tarde la instalación de otra central atómica de potencia similar, que atendería las demandas de energía de la región Noroeste.

Estas dos centrales atómicas serían singularmente útiles para adquirir experiencias y para preparar al personal que actuaría después en las grandes centrales que abastecerían de energía a Montevideo y a la región del litoral del Río de la Plata.

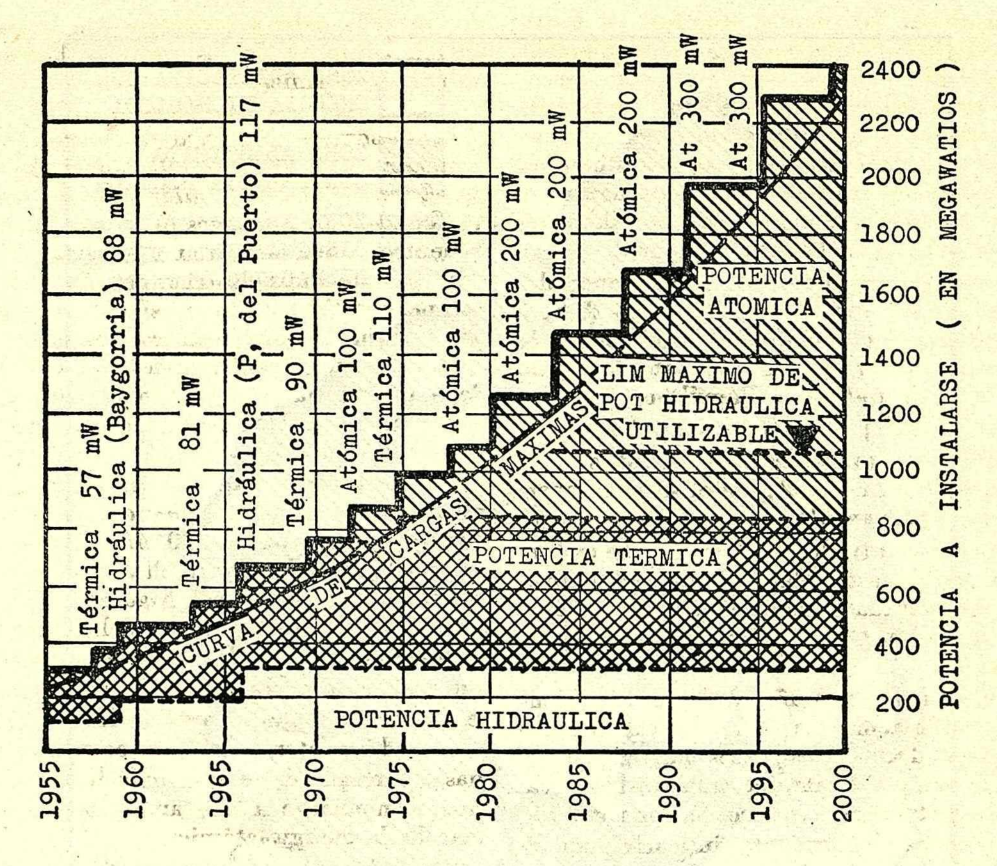


Figura 4. - Diagrama de cargas del sistema energético del Uruguay excluyendo el aprovechamiento hidroeléctrico del Salto Grande

La instalación de estas grandes centrales se iniciaría en 1980 con una potencia de 200,000 kilowatios, la que se incrementaría en forma rápida y sucesiva hasta sobrepasar el millón de kilowatios antes de terminar el presente siglo.

La figura 5 permite apreciar rápidamente la considerable importancia que tendría en el Uruguay la utilización de la energía atómica, en el caso de que no fuera posible el aprovechamiento hidroeléctrico del Salto Grande.

Se observa en la figura la ubicación prevista para las Centrales Este y Noroeste que atenderían exclusivamente con energía atómica una vasta extensión de la República; mientras que el litoral Sur del Río de la Plata sería abastecido por un sistema mixto atómico-térmico-hidráulico.

En cuanto al área atendida con energía hidroeléctrica experimentaría una sensible reducción si no se realizara el aprovechamiento hidroeléctrico del Salto Grande.

CONCLUSIONES

Las informaciones que se han utilizado para preparar esta exposición, aunque muy incompletas, permiten señalar sin embargo dos puntos de considerable importancia para el porvenir energético del país. Dos puntos que reclaman imperiosamente la atención de los estadistas y de los técnicos: 1º) el aprovechamiento hidroeléctrico del Salto Grande y 2º) la utilización de la energía atómica.

El aprovechamiento del Salto Grande significará la realización de una gran obra de interés internacional, cuya ejecución inmediata podría reducir dentro de ciertos límites la expansión térmica de la República Argentina, cuya curva de cargas máximas tiene in-

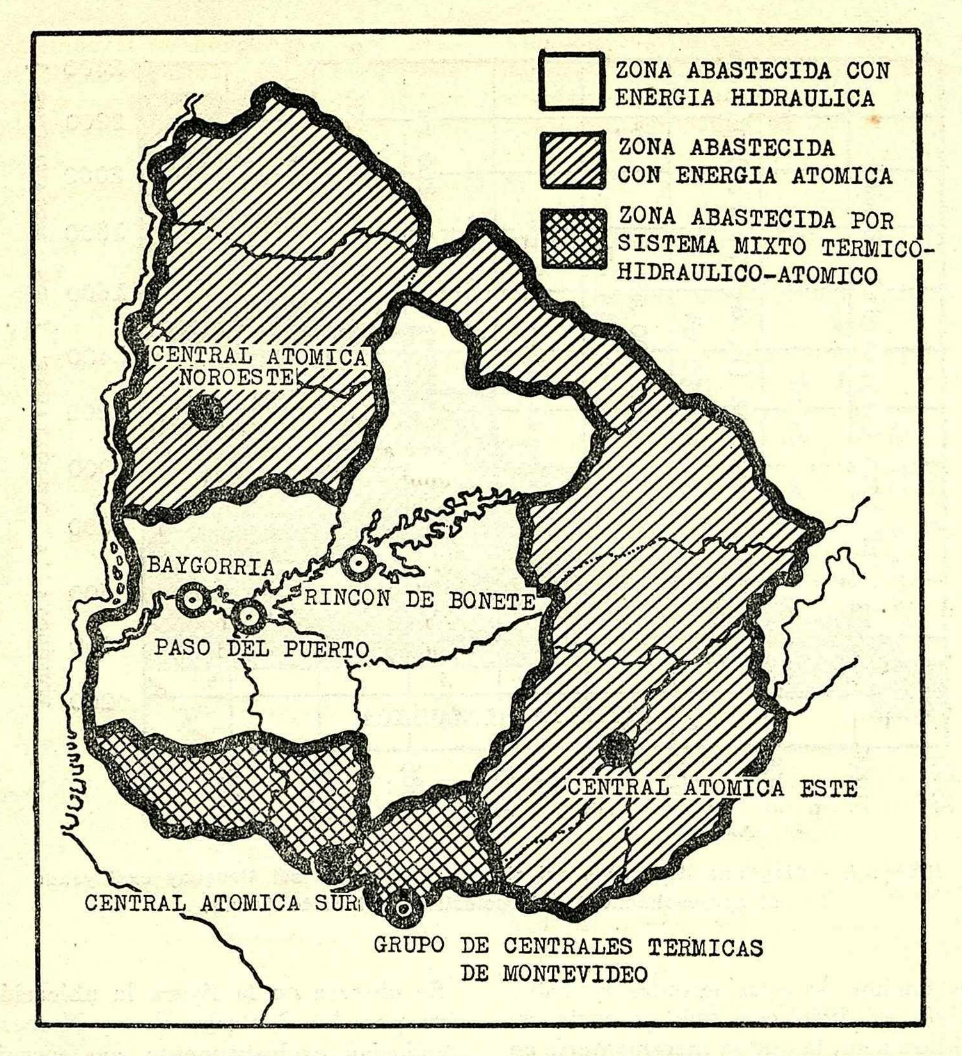


Figura 5. - Previsiones correspondientes al sistema energético del Uruguay al finalizar el Siglo XX, excluyendo el aprovechamiento hidroeléctrico del Salto Grande

dudablemente exigencias muy superiores a la de nuestro país.

La disponibilidad durante algunos años por la Argentina de la totalidad de la energía generada en Salto Grande no afectaría en forma sensible al sistema energético del Uruguay. Por tal motivo dicha fórmula sería especialmente indicada para amortizar el pesado gravamen que gravitaría sobre nuestro país como consecuencia de la construcción de la obra.

La fórmula favorecería también a la República Argentina, pues por una parte, le evitaría la expansión térmica dentro de una potencia del orden de los 1,200,000 kilowatios, con costos de energía superiores a los de la energía hidroeléctrica; y por otra, le permitiría encarar sin apremio la posibilidad de reforzar gradualmente su sistema energético con la mitad de aquella potencia, instalando plantas atómicas a medida que la potencia instalada en la Central Uruguaya se fuera incorporando al sistema energético de nuestro país.

Como lo hemos indicado antes, la utilización de la energía atómica en el Uruguay se encuentra estrechamente ligada al aprovechamiento hidroeléctrico del Salto Grande, que en caso de realizarse demorará en unos 15 años la implantación de aquélla en gran escala. Sin embargo, tan pronto como se complete el aporte energético de Salto Grande a

nuestro sistema de abastecimiento de energía, la única forma de satisfacer las demandas posteriores de energía, estará en la implantación en gran escala de la energía atómica.

Conviene hacer notar además que la curva de cargas máximas trazada sobre previsiones que podrían calificarse de pesimistas, pone en evidencia que en los tres últimos lustros del presente siglo se producirán elevados y frecuentes incrementos de la potencia instalada, los que serán mucho más fácil de atender mediante plantas atómicas, que construyendo centrales térmicas, cuyo desarrollo futuro quedará limitado a las exigencias que se requieran para mantener en las centrales hidroeléctricas o en las plantas atómicas determinados factores de carga.

Volvamos una vez más sobre la pregunta que planteara en el comienzo de mi disertación: ¿Hasta qué punto influirá la energía atómica en el desenvolvimiento progresista de nuestro país?

Deseo manifestar que la energía atómica está destinada a ser un factor indispensable para el desarrollo industrial del Uruguay, sustituyendo en gran parte a la energía térmica, más cara y supeditada a los trastornos de servicio que podrían derivar de la irregularidad de los abastecimientos de combustibles; y contribuyendo además a intensificar la utilización de la energía eléctrica y con ello a la expansión de la Industria.

Como se indicó en la Segunda y Tercera Parte de esta monografía hay muy fundadas esperanzas por que se consigan en los próximos 5 ó 10 años los adelantos requeridos para que la técnica de los reactores nucleares resuelva importantes problemas pendientes que impiden en el momento actual la difusión de la generación de la energía núcleo-eléctrica. Por este motivo creo difícil que se instale en el Uruguay la primera planta atómica antes de que transcurran 15 años.

Hubiera deseado que mis afirmaciones fueran más categóricamente optimistas en lo que respecta a la aplicación inmediata de la energía atómica en nuestro país; pero éste posee, entre tantos privilegios, el de no tener angustiosos problemas energéticos, cuya rápida resolución hubiera estado sin duda en el urgente empleo de la energía atómica.

El Uruguay, que ha estado siempre a la vanguardia, entre los países que se preocupan con particular atención por las cuestiones económico-político-sociales que interesan a la vida de los pueblos, ha recibido con profunda satisfacción el mensaje de la Conferencia de Ginebra.

Mensaje que abre un inmenso horizonte de esperanzas para tantas regiones del Mundo que por estar privadas de las imprescindibles disponibilidades de energía, han estado hasta ahora al margen de la civilización.

Mensaje que señala también para el Mundo perspectivas inimaginables de progreso, junto con los beneficios que éste representa para la Humanidad.

Referencias Bibliográficas

1) **E. A. G. Robinson, G. H. Daniel.** — The World's need for a new source of energy. Trabajo Nº 8/P/757 de la Conferencia Atómica de Ginebra (1955).

2) **Départment des Affaires économiques et sociales des Nations Unies.** — L'énergie nucleaire dans le bilan energetique mondial futur. Trabajo Nº 8/P/1116 de la Conferencia Atómica de Ginebra (1955).

3) **J. A. Lane.** — Economics of nuclear power. Trabajo Nº 8/P/476 de la Conferencia Atómica de Ginebra (1955).